

المـمـلـكـة الـعـربـيـة الـسـعـوديـة
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



تخصص اتصالات

خطوط النقل والألياف البصرية

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **خطوط النقل والألياف البصرية** " لمتدربي تخصص "**اتصالات**" في الكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

تعتبر خطوط النقل من العناصر الأساسية في نظم الاتصالات السلكية والتي تعتبر الجزء الأعلى تكلفة خاصة في الأنظمة بعيدة المدى، لذلك كان التركيز منذ البداية على تصميم وتصنيع خطوط اتصال عالية الكفاءة بأقل ما يمكن من التكاليف. وعند الحديث عن كفاءة خطوط النقل فالمقصود هو عرض النطاق الترددي (Bandwidth) للخط والذي يحدد سعة الإرسال، ومعامل الفقد (Loss) للخط والذي يحدد مسافات الإرسال والحاجة إلى معيدات الإرسال (Repeaters). إن الوظيفة الرئيسة لخط النقل هي نقل الإشارات الكهرومغناطيسية من المرسل للمستقبل في الأنظمة السلكية ونقل الإشارات من هوائي الاستقبال للمستقبل ومن المرسل لهوائي الارسال في أنظمة الاتصالات اللاسلكية.

بدأت خطوط النقل باستخدام الخطوط الثنائية (Two-wire lines) والتي كانت تعاني من مشاكل كثيرة أهمها التداخل الكهرومغناطيسي والفقد العالي وتأثرها الكبير بالظروف والعوامل الجوية المحيطة، ثم جاء استخدام الكيبلات المحورية (Coaxial Cables) ذات المواصفات الأفضل وخاصة في موضوع التداخل الكهرومغناطيسي والتي ما زالت تستخدم لهذا اليوم، كذلك استخدمت موجهات الموجة (Waveguides) كوصلات بين الهوائي والمرسل والمستقبل. لكن التطور الكبير كان اكتشاف الألياف البصرية والتي تستخدم الآن بشكل واسع جداً.

منذ أكثر من (25) عاماً بدأ استخدام وتطبيق الألياف البصرية كخطوط اتصال مما مهد لحصول ثورة في عالم الاتصالات من حيث الكم الهائل للمعلومات والتي أصبح بالإمكان نقلها عبر هذه الخطوط لمسافات طويلة وبنوعية عالية الجودة.

لقد كانت فكرة استخدام الضوء كوسيلة للاتصال قديمة جداً عندما استخدمها الإغريق كوسيلة للإنذار المبكر في حالة حصول الخطر أو الحروب، لكن فكرة استخدام الضوء لإرسال المعلومات كانت قد بدأت في العام (1880) عندما عمل ألكسندر جراهام بيل على تصميم الهاتف الضوئي والذي يعرف بـ (Photophone) وذلك من أجل إرسال الصوت عبر الضوء، بعد ذلك بدأت محاولات إرسال الضوء عبر الفراغ المحيط بنا منذ اختراع وتصنيع الليزر في العام (1958) والتي كانت تتطلب عدم وجود عوائق على مدى خط مستقيم. في العام (1970) كانت البدايات الفعلية لمحاولة إرسال الضوء عبر ألياف زجاجية ذات معدل توهين أقل من (20 dB/km) وفي نطاق معامل التجارب، بعد ذلك توالت الأبحاث لتطوير إنتاج ألياف بصرية من الزجاج النقي وبمعدلات توهين أقل حيث تمكنت في أواسط السبعينيات من القرن الماضي شركة (Corning Inc.) من تقديم كيبلات بصرية في الأسواق التجارية.

لقد جاء تطوير وتصنيع الألياف البصرية على مراحل، حيث كانت في المرحلة الأولى تعمل على الطول الموجي (850 nm) والتي سميت النافذة الأولى (First Window) بمعدل توهين لغاية(3 dB/km) والذي كان إنجازاً عظيماً في وقته. ثم انتقلت الشركات المصنّعة إلى النافذة التالية (Second Window) حيث تم تصنيع ألياف بصرية تعمل على الطول الموجي (1310 nm) بمعدل توهين إلى حوالي (0.5 dB/km).

في نهاية العام (1977) قامت شركة (NTT) بالانتقال إلى النافذة الثالثة (Third Window) وذلك باستخدام الطول الموجي (1550 nm) حيث أمكن الحصول على ألياف زجاجية بمعدل توهين حوالي (0.2 dB/km) والذي يعتبر نظرياً أقل حد ممكن لقيمة الفقد في الليف البصري. وفي السنوات الحالية جميع الأطوال الموجية السابقة الذكر تصنّع وتعمل في معظم دول العالم إن لم يكن جميعها.

لقد بدأ التطبيق والاستخدام الفعلي لأنظمة الاتصالات البصرية في بداية السبعينيات من القرن الماضي وذلك من قبل القوات المسلحة الأمريكية حيث تم تركيب كيبل بصري لنقل المكالمات الهاتفية تبعه مشروع القوات الجوية (Airborne Light Optical Fiber Technology ALOFT) في العام (1976)، توالت بعد ذلك الاستخدامات التجارية حيث قامت شركتا (AT&T) و (GTE) في العام (1977) بإنشاء وتركيب أنظمة اتصالات بصرية في كل من شيكاغو و بوسطن. بعد ذلك قامت شركة (Bell) في العام (1980) بإنشاء وتركيب نظام اتصال بصري بطول (611) ميل وذلك في شمال الولايات المتحدة الأمريكية.

لقد كان تصنيع الألياف أحادية النمط في بداية الثمانينات من القرن الماضي بمثابة نقلة نوعية في الاتصالات بعيدة المدى حيث كانت وما زالت تعمل على الطول الموجي (1310 nm أو 1550 nm) وأصبحت بدون منافس من حيث مسافة و سعة الإرسال. لقد توالت الأبحاث والابتكارات في مجال زيادة سعة الإرسال لليف البصري والوصول إلى مسافات إرسال خيالية، حيث تم تطوير تقنية تجميع القنوات باستخدام التعدد بتقسيم الطول الموجي (WDM) كذلك طريقة ما يسمى (Soliton Transmission) حيث قامت شركة (Bell Labs) في العام (1990) بتجربة إرسال (2.5 Gbit/s) لمسافة (7500 km) مستخدمة المكبرات الضوئية من نوع (EDFA) بدون الحاجة لمحطات التقوية وإعادة البث (Regenerators). بعد ذلك و في العام (١٩٩٨) كانت هنالك تجربة إرسال (100) قناة اتصال عبر ليف بصري واحد لمسافة (400 km) (كل قناة على سرعة 10 Gbit/s) حيث استخدمت تقنية التعدد بتقسيم الطول الموجي المضغوطة والتي أصبحت تعرف (Dense Wavelength-Division Multiplexing) أو اختصاراً (DWDM).

إن الثورة الهائلة في مجال الاتصالات والمعلومات والتي تتمثل في الاستخدام غير المحدود للإنترنت فرض واقعاً جديداً لا يمكن تحقيقه بدون شبكات اتصال ذات سعة نقل معلومات هائلة جداً والتي لا يمكن تطبيقها إلا باستخدام الألياف البصرية.

تتناول هذه الحقيبة التدريبية موضوع خطوط النقل والألياف البصرية، حيث خصصت الوحدة الأولى للتعرف على خطوط النقل التقليدية: الخطوط الثنائية والكيبلات المحورية من حيث مبدأ العمل والخصائص العملية لها والتي أصبح استخدامها يقل تدريجياً، أما بقية الحقيبة (نسبة 90 %) فتتناول بشكل موسّع موضوع الألياف البصرية وذلك نظراً لأهميته في الوقت الحاضر.

تتناول الوحدة الثانية مقدمة عامة لأنظمة الاتصالات البصرية مع التركيز على شرح الميزات الايجابية لليف البصري، مع دراسة الليف البصري بالتفصيل من حيث مبدأ العمل والأنواع والخصائص العملية. أما الوحدة الثالثة فتتناول عملية الإرسال عبر الليف البصري وما يصاحبها من مشاكل وكيفية حساب ذلك. في الوحدة الرابعة يتم تقديم الأنواع الرئيسة للكيبلات البصرية وخصائصها العملية، تتناول الوحدة الخامسة التعرف على أدوات التوصيل والمشاكل العملية المصاحبة لذلك وكيفية حساب الفقد الناتج عنها. تتناول الوحدة السادسة دراسة الطرق المتبعة لتمديد وتركيب كيبلات الألياف البصرية والتعرف على الخطوات العملية لإجراء عملية لحام الليف. أما الوحدة السابعة فقد خصصت لدراسة الأنواع الأساسية من المصادر و الكواشف الضوئية والتعرف على خصائصها العملية والتي لا بد من وجودها لعمل نظام الاتصالات البصري. تتناول الوحدة الثامنة وبشكل مختصر التعرف على المبادئ والأفكار الرئيسة في موضوع تصميم أنظمة الاتصالات البصرية، وتتناول الوحدة التاسعة دراسة مبادئ شبكات الالياف البصرية (SONET/SDH). وفي الختام، فقد تم تقديم عدد من الأمثلة المحلولة في الوحدات ومجموعة من الأسئلة والتمارين في نهاية كل وحدة. وفي نهاية الحقيبة التدريبية تم تقديم ملحق بالرموز والاختصارات المستخدمة في الحقيبة.

والله الموفق

خطوط النقل والألياف البصرية

اساسيات خطوط النقل

الوحدة الاولى : أساسيات خطوط النقل

الجدارة: القدرة على التعرف على أنواع خطوط النقل السلكية الرئيسية ودراسة أساسيات عملها وخصائصها الرئيسة...

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المتدرب القدرة على أن:

- يعرف تركيب ومبدأ عمل خطوط النقل الثنائية والمحورية.
- يتعرف على الأنواع الرئيسة للكيبلات المحورية.
- يتعرف على الخصائص الرئيسة لخطوط النقل.
- يتعرف على الموائمة الكلية وطرق الحصول عليها.

مستوى الاداء المطلوب: أن يصل المتدرب على إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ٤ ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة
- استخدام برنامج "Power Point" لعرض محاضرات أساسيات خطوط النقل.

متطلبات الجدارة:- أن يكون المتدرب ملماً بمحتوى مقرر أساسايات الاتصالات.

أساسيات خطوط النقل

Basics of Transmission Lines

مقدمة

تعتبر خطوط النقل من العناصر الأساسية والأكثر تكلفة لأنظمة الاتصالات وتقوم بنقل وتوجيه الطاقة "الكهربائية أو الكهرومغناطيسية أو الضوئية" التي تحمل المعلومات المراد إرسالها من المرسل للمستقبل في نظم الاتصالات السلكية، أو من جهاز الإرسال لهوائي الإرسال أو من هوائي الاستقبال لجهاز الاستقبال في نظم الاتصالات اللاسلكية.

ويمكن تلخيص وظيفة خط النقل بانه يتم خلاله نقل الطاقة من مكان لآخر. وتوجد مسميات كثيرة لخط النقل منها خط اتصال – خط إرسال - خط تراسل – قناة اتصال.

تنقسم خطوط النقل إلى خطوط كهربائية (الخط الثنائي، والكيبل المحوري ...إلخ). وخطوط غير كهربائية (الألياف البصرية). وتوجد أنواع متعددة لخطوط النقل المستخدمة في أنظمة الاتصالات المختلفة منها:

- الخطوط الثنائية Two -Wire Lines
- الكيبل المحوري Coaxial Cable
- موجهات الموجة Waveguides
- الخط الشريطي الدقيق Microstrip Line
- الألياف البصرية Optical Fibers

سوف نركز في هذه الوحدة على دراسة الخطوط الثنائية والكيبلات المحورية وفي الوحدات القادمة سنقوم بدراسة الألياف البصرية بالتفصيل، أما بقية الأنواع فيدرسها المتدرب في مقررات أخرى.

١ - ١ الخطوط الثنائية Two -Wire Lines

خطوط النقل الثنائية تتكون من خطين، أحدهما يسمى الذاهب ("Go" Line) والآخر يسمى الراجع ("Return" Line) بينهما مادة عازلة و تصنع هذه الخطوط من مواد موصلة مثل الأسلاك النحاسية.

تنتقل الإشارات عبر هذه الخطوط بترددات تتراوح من صفر هيرتز إلى بضع مئات (MHz) تعتمد قيمته على نوع الخط ومواصفاته القياسية، لذلك تعتبر هذه الخطوط من ناحية كهربائية مرشحات تعمل على التردد المنخفض (Low Pass Filters-LPF). وحتى يكون هذا الخط منتظماً (Uniform) يجب أن يكون الموصلان (السلكان) من نفس المادة ولهما نفس الطول والقطر مع الحفاظ على ثبات المسافة بينهما.

تعتبر الخطوط الثنائية متوازنة كهر بائياً (Balanced Lines) وذلك لأن الخط الذاهب والراجع لهما نفس السعة الكهربائية بالنسبة إلى الأرض حيث يمر فيهما نفس التيار ولكن بإتجاه متعاكس. وتستخدم الخطوط الثنائية بشكل رئيسي في الشبكات الهاتفية وفي التوصيلات الكهربائية المختلفة. وتوجد أنواع متعددة من الخطوط الثنائية منها :-

- **خط النقل الثنائي المفتوح** Open Two-Wire Line

- يسمى خط ثنائي مفتوح لأن الموصلين لا يتم تغطيتهم بمادة عازلة ويفصل بينهما الهواء وتستخدم فواصل عازلة بانتظام على مسافات للحفاظ على ثبات المسافة بينهما حتى لا يحصل تماس (Short). ونظرا لأن الخط مكشوف فهو عرضة للتأثر بالعوامل الجوية وفقده عالي.

- **خط النقل الثنائي المغلف** Shielded Pair Transmission Line

- يسمى بالمغلف لأن الموصلين يتم تغطيتهم ويفصل بينهما مادة بلاستيكية عازلة. وبالتالي يكون اقل عرضة للتأثر بالعوامل الجوية وفقده أقل من الخط الثنائي المكشوف.

- **خط النقل الثنائي المجدول** Twisted Pair Transmission Line

يغطى الموصلين بطبقة من مادة بلاستيكية عازلة ويتم جدلهم معا وذلك للتقليل من أثر التداخل الكهرومغناطيسي بين الخطوط المتجاورة.

١- ٢ الكيبل المحوري Coaxial Cable

جاءت فكرة تصميم و تطوير خطوط النقل المحورية للتخلص من سلبيات و مشاكل خطوط النقل الثنائية والتي من أهمها:

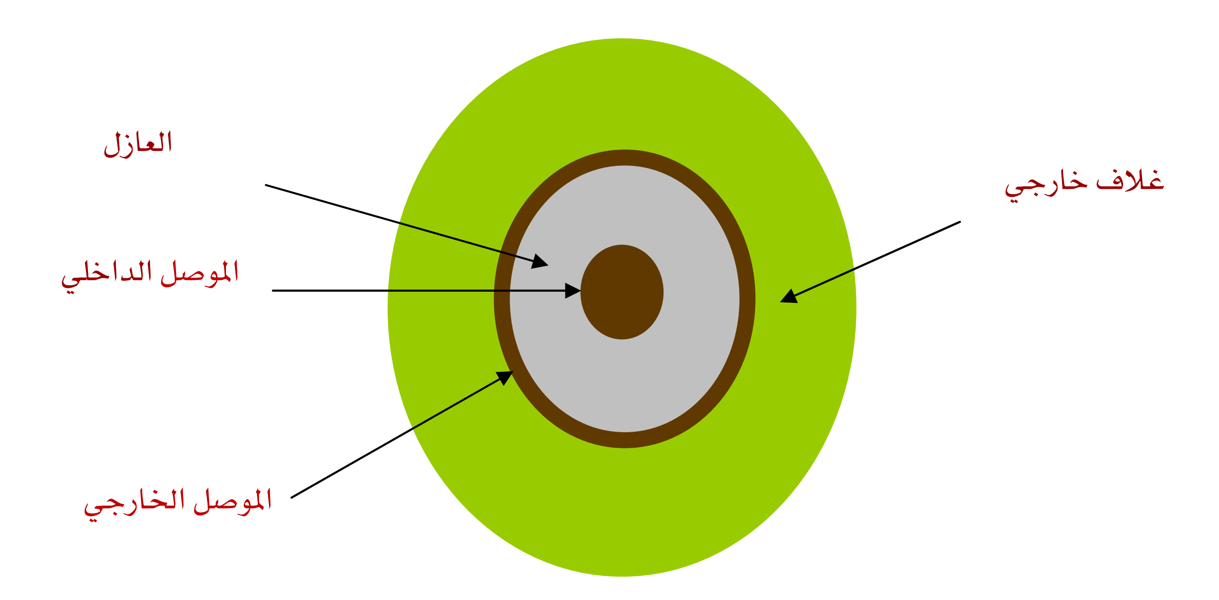
- التداخل الكهرومغناطيسي بين الخطوط الثنائية المتجاورة.
- صغر عرض النطاق الترددي الذي تعمل عليه الخطوط الثنائية وبالتالي قلة كمية المعلومات الممكن إرسالها عبر تلك الخطوط.
- الفقد العالي الذي تتعرض له الإشارات الكهربائية عند إرسالها عبر تلك الخطوط مما يوجب وضع محطات التقوية وإعادة البث على مسافات متقاربة مما يعني الزيادة الكبيرة في عددها وبالتالي ارتفاع التكاليف.
- تأثر تلك الخطوط بالعوامل الجوية من حرارة ورطوبة وأمطار وصواعق جوية مما يؤدي إلى زيادة مشاكل الإرسال وتدني مستوى الاتصال وجودته وايضا لقصر عمر تلك الخطوط.

نتيجة لما سبق من السلبيات فإن خطوط النقل الثنائية لا تستخدم بكثرة الآن في أنظمة الاتصالات وقد حل مكانها الخطوط المحورية أو ما يسمى الكيبلات المحورية (Coaxial Cables).

١ - ٢ - ١ التركيب الأساسي Basic Construction

يتكون الكيبل المحوري من الأجزاء الأساسية التالية انظر الشكل (١ - ١):

- الموصل الداخلي (Inner Conductor)
- الموصل الخارجي (Outer Conductor)
- العازل (Dielectric) حيث يفصل الموصل الداخلي عن الخارجي
- الغلاف الخارجي (Jacket). تحتوي بعض الأنواع على طبقات وقاية إضافية تقع تحت الغلاف الخارجي.



الشكل (١ - ١) التركيب الأساسي للكيبل المحوري

تعتبر الكيبلات المحورية خطوط اتصال غير متوازنة كهربائيا (Unbalanced Lines) ويعود ذلك إلى مبدأ تشغيل تلك الخطوط حيث يتم توصيل الجهد مع الموصل الداخلي مما يؤدي إلى شحنه بينما يبقى الموصل الخارجي خالياً من الشحنات حيث يتصل بالأرضي وهذا يعني أن الموصل الداخلي والخارجي لهما سعة كهربائية مختلفة مقارنة مع الأرض وبالتالي فإن الكيبلات المحورية خطوط غير متوازنة كهربائيا.

وتنقسم الكيبلات المحورية إلى:

- **كيبلات محورية هوائية أو صلبة** Rigged or Air Coaxial Cables

تستخدم فواصل عازلة بانتظام على مسافات ثابتة لتثبيت الموصل الداخلي وعزله عن الخارجي حتى لا يحصل تماس (Short). والعازل بين الموصلين يكون إما هواء أو غاز خامل وفي هذه الحالة يكون الموصل الخارجي عبارة عن سطح أسطواني مصمت.

- **كيبلات محورية مرنة** Flexible Coaxial Cables

تستخدم مادة عازلة (بوليثيلين أو غيرها) بين الموصلين الداخلي والخارجي. والموصل الخارجي يصنع من شبكة من الأسلاك الرفيعة ملفوفة فوق طبقة رقيقة من الألومنيوم. مثل الكيبل المستخدم مع جهاز استقبال القنوات الفضائية بالمنازل.

١ - ٢ - ٢ مميزات وعيوب الكيبلات المحورية

Advantages and Disadvantages of Coaxial Cables

- **أولاً: المميزات** Advantages

١ – وجود الموصل الخارجي الذي يمنع دخول أي موجات كهرومغناطيسية خارجية وبالتالي عدم حدوث التداخل بين الخطوط المتجاورة.

٢ - ذات وثوقية عالية (Reliable)، مما يعني أن العمر التشغيلي لها طويل نسبياً حيث يتراوح من ١٢ إلى ١٥ سنة عمل.

٣ - البساطة في الاستخدام والتركيب (Installation) حيث إنها لا تحتاج إلى فنيين مهرة.

٤ - إمكانية عملها على ترددات عالية مما يعني الحصول على نطاق ترددي (Bandwidth) عريض نسبياً وبالتالي إمكانية نقل أكبر كم ممكن من المعلومات.

- **ثانيا العيوب** Disadvantages

١ - ذات فقد عالي نسبياً (Insertion Loss).

٢- ذات إمكانيات محدودة في تحمل القدرة (Power Limitations).

ملاحظة عملية: كلما زاد قطر الكيبل: كلما قل الفقد وكلما زاد تحمل الكيبل للقدرة.

لذلك من الأفضل أن نتعامل مع الكيبلات ذات القطر الأكبر ولكن في هذه الحالة تزيد تكلفة ووزن الكيبل.

١ - ٣ المعاملات الأساسية لخطوط النقل Main Parameters of Transmission Lines

هنالك مجموعة من المعاملات أو الخصائص الأساسية لخطوط النقل الكهربائية والتي تتغير حسب نوع وشكل ومقاسات الخط وتتأثر بالظروف والعوامل المحيطة بها و أهمها:

١- ٣- ١ تردد التشغيل Operating Frequency

يعتبر التردد المعامل الهام الذي يجب معرفته عن خط النقل والذي بدوره يحدد عرض النطاق الترددي (Bandwidth) للخط وبالتالي سعة الإرسال (كمية المعلومات التي يمكن نقلها عبر الخط).

و تختلف قيمة تردد التشغيل باختلاف نوع الخط حيث تصل إلى بضع مئات (MHz) للخطوط الثنائية (حوالي 200MHz) بينما تصل إلى بضع آلاف(MHz) للكيبلات المحورية حوالي (3GHz)

١ - ٣- ٢ الدائرة الكهربائية المكافئة Electrical Equivalent Circuit

إن القيم الكهربائية الأساسية لخط النقل هي قيم موزعة على طول الخط وليست مركزة كمثل الدوائر العادية ولذلك فإنها تعتمد عل طول الخط (ℓ) وتتكون الدائرة الكهربائية المكافئة تكون لطول معين من الخط نرمز له (dx) وتتكرر هذه الدائرة مع تكرار هذا الطول. ولا بد من الإشارة إلى أننا نفترض بأن خط النقل هو خط متجانس (Homogeneous Line) وبالتالي القيم الكهربائية ثابتة ولا تتغير على طول القطعة الواحدة (dx). وسوف نعبّر عن تلك القيم بالرموز التالية:

$$R' = R / \ell \quad ohm/m$$

$$G' = G / \ell \quad mho/m$$

$$C' = C / \ell \quad F/m$$

$$L' = L / \ell \quad H/m$$

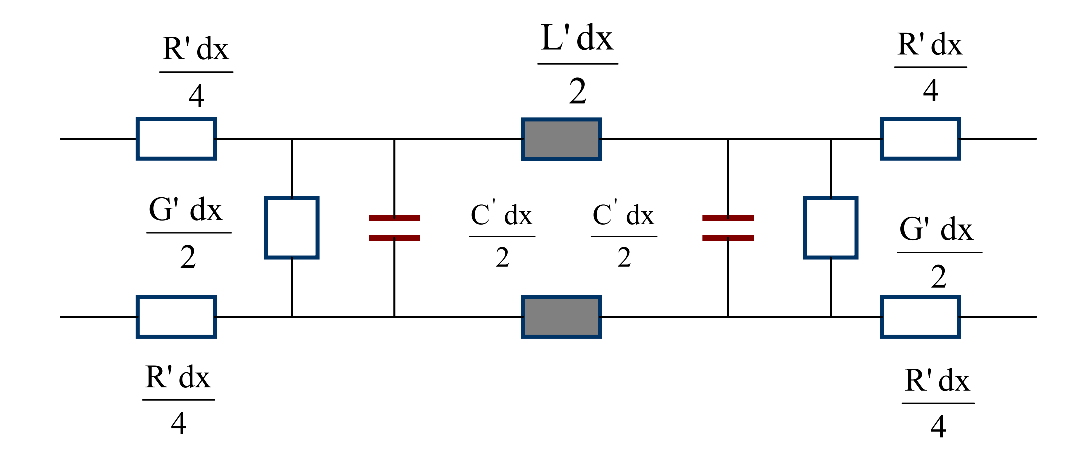
حيث إن R المقاومة (Resistance)، (تعتمد على نوع الموصل وتزداد مع زيادة التردد)

G الموصلية (Conductance)، (تعتمد على نوع العازل وتزداد مع زيادة التردد)

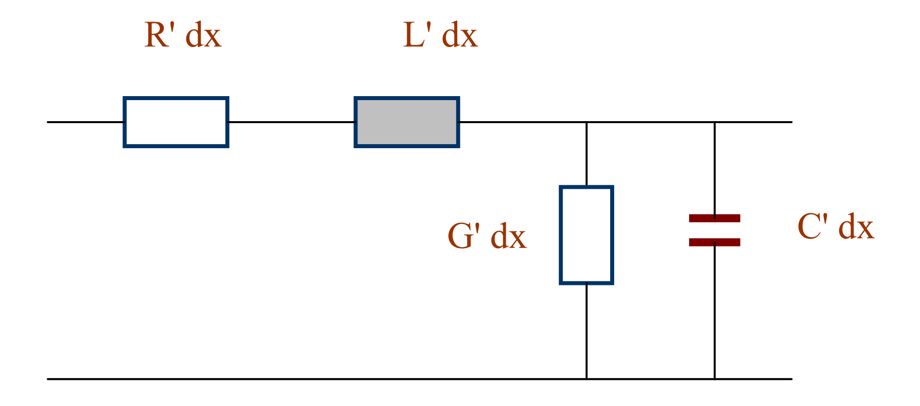
C السعة (Capacitance)، (تعتمد على نوع وحجم الموصل والمسافة بينهما وعلى نوع العازل)

L المحاثة (Inductance)، (تعتمد على نوع وحجم الموصل)

يوضح الشكل (١ - ٢) الدائرة الكهربائية المكافئة لخط اتصال ثنائي بطول (dx). **ويوضح** الشكل (١- ٣) الدائرة الكهربائية المكافئة لكيبل محوري بطول (dx) ويمكننا قياس خط النقل بدلالة وحدات الطول العادية (بالمتر أو الكيلومتر) أو بوحدة الطول الموجي.



الشكل (١- ٢) الدائرة الكهربائية المكافئة لخط الاتصال الثنائي بطول (dx)



الشكل (١- ٣) الدائرة الكهربائية المكافئة للكيبل المحوري لقطعة بطول (dx)

١- ٣- ٣ المانعة المميزة Characteristic Impedance "Z_c"

بشكل عام فإن قيمة المانعة المميزة لخط النقل تحسب من القيم الكهربائية للخط (R',L',C',G')، ويتم قياسها بوحدة الاوم.

و تعرّف المانعة المميزة لخطوط النقل Z_c حسب العلاقة (1.1)

$$Z_c = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}} \quad \Omega \qquad (1.1)$$

ويمكن إيجاد قيمة المانعة المميزة لخط النقل إما بالطريقة الحسابية أو بالطريقة العملية كالتالي:

▪ **أولا الطريقة الحسابية لإيجاد الممانعة المميزة**

Mathematical Determination of Characteristic Impedance

- **في حالة الخط الثنائي:**

$$Z_c = \frac{276}{\sqrt{\varepsilon_r}} Log_{10}\left(\frac{2x}{d}\right) \qquad \Omega \qquad (1.2)$$

حيث إن x المسافة بين الموصلين.

d قطر الموصل.

ε_r ثابت العزل.

- **في حالة الكيبل المحوري:**

$$Z_c = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon_r}} Log_{10}\left(\frac{D}{d}\right), \qquad \Omega \qquad (1.3)$$

حيث إن d قطر الموصل الداخلي.

D قطر الموصل الخارجي.

ملحوظات:

- للحصول على كيبل محوري بمواصفات جيدة يجب أن تكون نسبة قطر الموصل الخارجي للداخلي ($D/d \cong 3.6$)

- في الواقع العملي، تقسم الكيبلات المحورية إلى مجموعتين:

▪ مجموعة ذات ممانعة مميزة تساوي ($Zc = 50\ \Omega$) وعادة ما تستخدم في أنظمة الاتصالات المختلفة.

▪ مجموعة ذات ممانعة مميزة تساوي ($Zc = 75\ \Omega$) وعادة ما تستخدم في كيبلات البث التلفزيوني (CTVD)

من المعادلات السابقة يتضح لنا أن الممانعة المميزة لخط النقل لا تعتمد على طول الخط ولا التردد الذي يعمل عنده الخط ولكن قيمة التردد تحدد مقدار التوهين الحادث للإشارة المنقولة عبر خط النقل ولكن تعتمد على:-

- حجم الموصلات
- المسافة بين الموصلات
- نوع العازل بين الموصلات

- **ثانيا الطريقة العملية لإيجاد الممانعة المميزة**

Practical Determination of Characteristic Impedance

تستخدم هذه الطريقة لجميع أنواع خطوط النقل وتحسب من العلاقة التالية:

$$Z_c = \sqrt{Z_{i,0}\, Z_{i,\infty}} \qquad (1.4)$$

حيث إن:

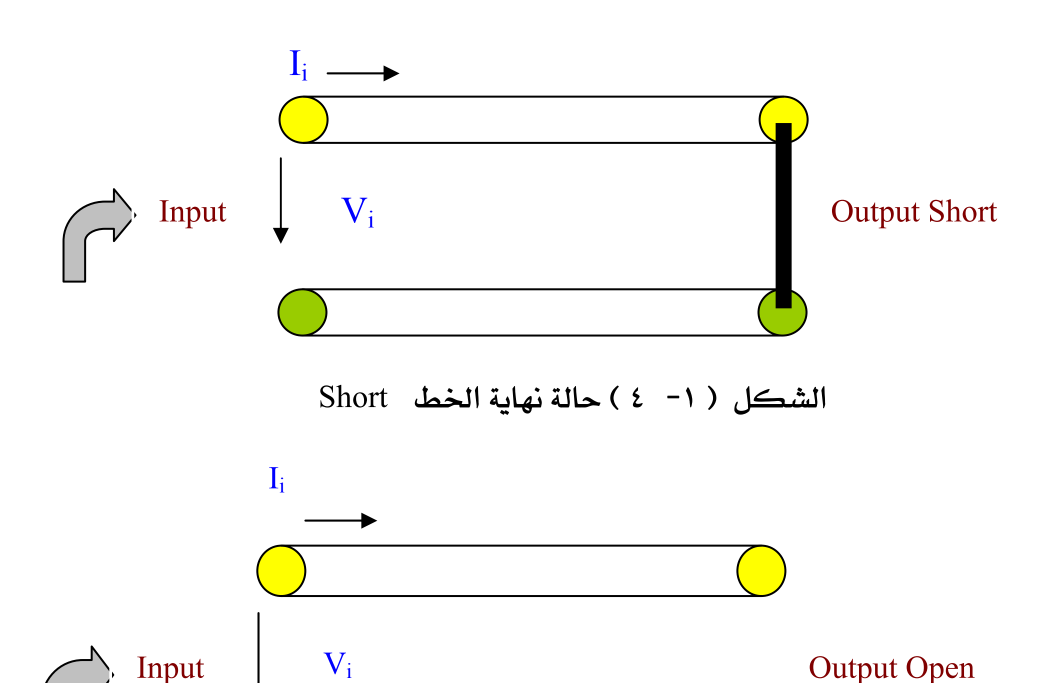
$Z_{i,0}$ ممانعة الدخل للخط عندما تكون ممانعة الخرج للخط ($Z_{out} = 0\ \Omega$) الشكل (١- ٤).

$Z_{i,\infty}$ ممانعة مدخل الخط عندما تكون ممانعة مخرج الخط ($Z_{out} = \infty\ \Omega$) الشكل (١- ٥).

ويتم قياس التيار (I_i) و الجهد (V_i) باستخدام (Multimeter) وذلك حتى نتمكن من حساب ($Z_{i,0}$) و ($Z_{i,\infty}$) وفقاً للعلاقات التالية:

$$Z_{i,0} = \frac{V_i}{I_i} \quad when \quad (Z_{out} = 0 \quad \Omega) \qquad (1.5)$$

$$Z_{i,\infty} = \frac{V_i}{I_i} \quad when \quad (Z_{out} = \infty \quad \Omega) \qquad (1.6)$$



الشكل (١- ٤) حالة نهاية الخط Short

Ii
Input
Vi
Output Open

الشكل (١- ٥) حالة نهاية الخط Open

١- ٣- ٤ التوهين وفقد الخط Attenuation and Line Loss

في الواقع العملي، انتشار الإشارات الكهربائية عبر خطوط النقل يصاحبه تناقص في مستوى الإشارة أو ما يسمى التوهين (Attenuation) وذلك نتيجة لحدوث الفقد (Loss) الذي ينقسم إلى:

- الفقد المرتبط بمقاومة الموصلات:- ويعتمد على نوع الموصل المصنوع منه خط النقل حيث تعتمد قيمته على قيمة المقاومة (R) و يظهر هذا الفقد في صورة انبعاث حراري.
- الفقد المرتبط بالعازل المستخدم:- وتعتمد قيمته على نوع العازل بناء على قيمة ثابت العزل الكهربائي لمادة العازل (Dielectric Constant "ε").
- فقد الإشعاع:- ينتج عن خروج جزء من المجال الكهرومغناطيسي إلى خارج الخط دون عودة، لذلك يتم اللجوء لعملية التغليف (Shielding) وهي إحاطة خط النقل بغلاف معدني يوصل بالأرضي للتقليل من هذا الفقد وفي حالة الكيبل المحوري يعمل الموصل الخارجي كغلاف حماية من تداخل الموجات الكهرومغناطيسية.

- فقد الانعكاس:- وينتج عن إرتداد جزء من الموجات الكهرومغناطيسية المنقولة عبر خط النقل بإتجاه بداية الخط والسبب في ذلك هو عدم موائمة الممانعات (عدم مساواة ممانعة الخط مع ممانعة أجهزة الإرسال والاستقبال أو عدم تساوي الممانعة عبر الخط نفسه في مناطق الربط والتوصيل) كما سيتضح لاحقا. ويقاس فقد الانعكاس عن طريق تحديد معامل الانعكاس والذي يحدد نسبة الموجة المنعكسة الى الموجة الساقطة.

- **معامل الانعكاس** Reflection Coefficient

يمكننا تحديد معامل الانعكاس والذي يرمز له(Γ) وتكون قيمته مركبة (Complex) وللحصول على القيمة الحقيقية لمعامل الانعكاس نأخذ القيمة المطلقة وفقاً للعلاقة التالية:

$$|\Gamma| = \left| \frac{Z_L - Z_C}{Z_L + Z_C} \right| \qquad (1.7)$$

حيث إن

Z_c هي الممانعة المميزة لخط النقل.

Z_L ممانعة الحمل (Load) الموصل مع نهاية الخط.

في حالة حصول الانعكاس نحصل على الموجة المستقرة (Standing Wave) والتي هي النسبة بين القيم القصوى والصغرى للمجموع الجبري لكلٌ من الموجة الأمامية (Forward Wave) والمنتقلة من المصدر باتجاه الحمل والموجة العكسية (Reverse Wave) المنعكسة في اتجاه المصدر والتي تتواجد على خط النقل نتيجة عدم الموائمة ويمكن حساب معدلها من خلال معامل الانعكاس وفقاً للعلاقة التالية:-

$$SWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \qquad (1.8)$$

١- ٣- ٥ تحمل القدرة Power Handling

عبارة عن قيمة القدرة الكهربائية بالوات التي يتحملها خط النقل دون أن يتلف والتي تعتمد على نوعية المواد المستخدمة في التصنيع، وحجم الخط.

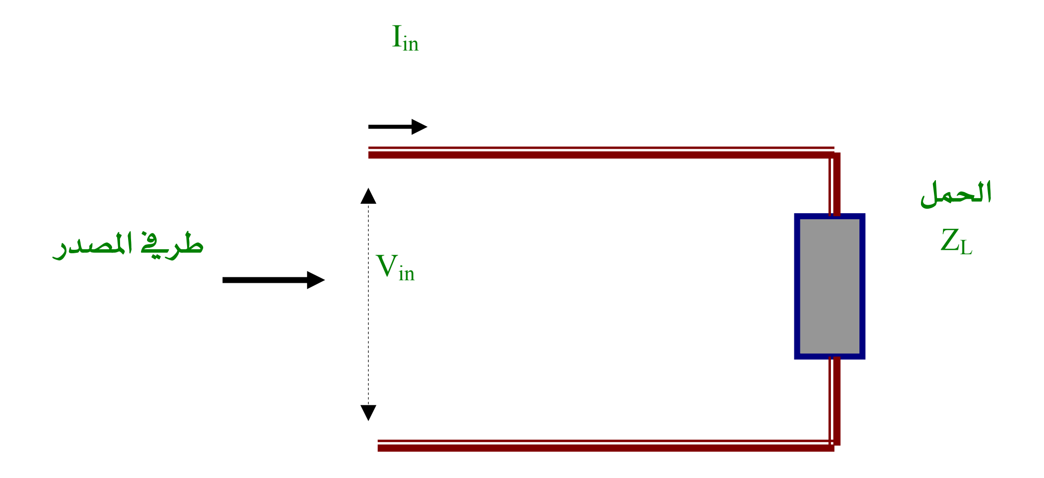
١- ٣- ٦ ممانعتي الدخل والخرج Input and Output Impedance

كما هو معلوم فإن لخطوط النقل طرفان، الدخل (Input) والذي يتم وصله مع المصدر والخرج (Output) الذي يتم وصله مع الحمل. كخط كهربائي يمكننا إيجاد ممانعة الدخل (Z_{in}) وممانعة الخرج (Z_{out}) كالأتي:

أ- ممانعة الدخل Input Impedance - Z_{in}

وهي ممانعة طرف الدخل للخط والتي تظهر من جهة المصدر (Source) وتتكون من ممانعة الخط وممانعة الحمل (Z_L) انظر الشكل (١- ٦) وتقاس حسب العلاقة التالية

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} \qquad (1.9)$$

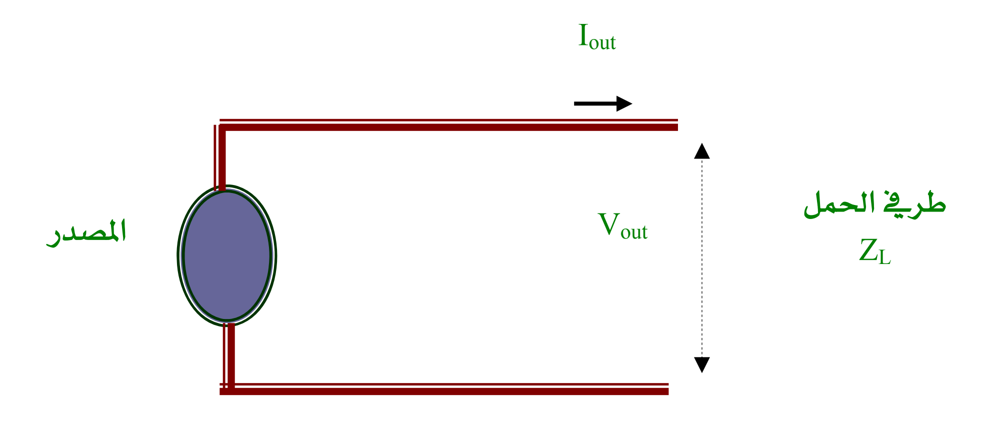


الشكل (١- ٦) قياس ممانعة الدخل لخط النقل

ب- ممانعة الخرج Output Impedance - Z_{out}

وهي ممانعة طرف الخرج للخط والتي تظهر من جهة الحمل (Load) وتتكون من ممانعة الخط وممانعة المصدر (Z_S) انظر الشكل (١- ٧) وتقاس حسب العلاقة التالية:

$$Z_{out} = \frac{V_{iout}}{I_{out}} \qquad (1.10)$$



الشكل (١- ٧) قياس ممانعة الخرج لخط النقل

١- ٣- ٧ موائمة الممانعة Impedance Matching

عند توصيل خطوط النقل مع بعضها البعض أو توصيل خط النقل مع المصدر أو الحمل يجب مراعاة أن تتحقق موائمة الممانعة وهي مساواة الممانعة المميزة للخط مع ممانعة المصدر أو الحمل أو الخط الآخر المراد التوصيل معه. ومن المهم تحقيق موائمة الممانعة وذلك للأسباب التالية:-

- الحصول على أقصى قيمة لتحويل القدرة من المصدر للحمل وهذه الحالة تسمى الموائمة الكلية.
- التقليل من الفقد في خط النقل .
- التقليل من ظاهرة الانعكاس عبر خط النقل والذي يؤثر سلباً على جودة النقل.

ملاحظة:- يتضح من العلاقات (1.7) و (1.8) أنه عند حدوث موائمة فإن ($\Gamma = 0$ & $SWR = 1$)

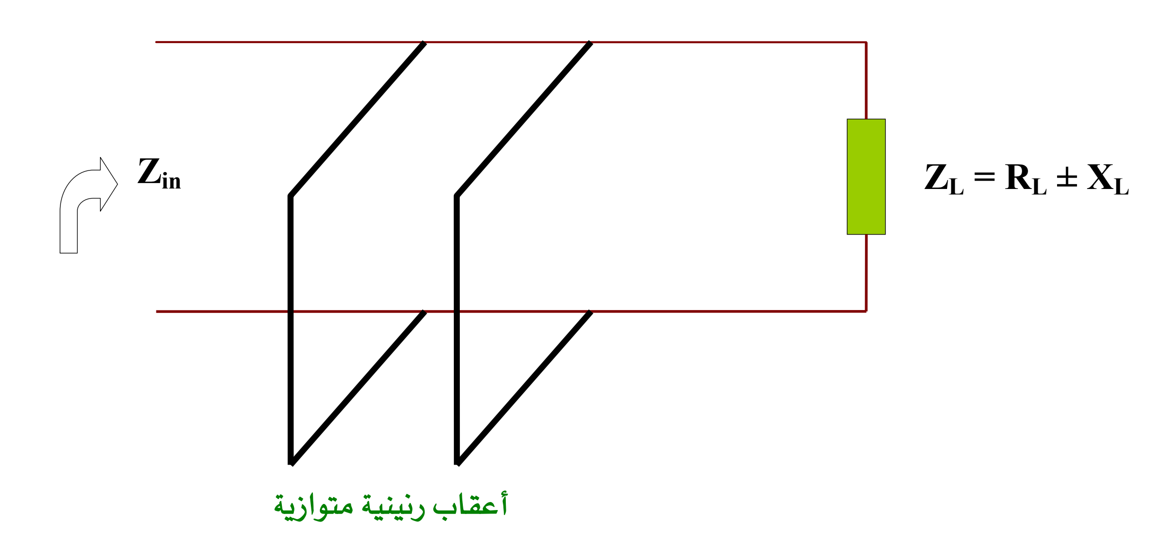
عند عدم وجود موائمة يجب استخدام طرق لتحقيق شرط الموائمة منها الطرق التالية:

أ- طريقة المحول ذي الطول $\lambda/4$ ‏ $\lambda/4$ Transformer

تستخدم هذه الطريقة في حالة كون ممانعة الحمل ذات طبيعة مقاومية (Resistive Load) وفي حالة عدم مساواة ممانعتي الخط والحمل ($Z_c \neq Z_L$)، وتعتمد هذه الطريقة على استخدام قطعة من خط نقل بطول يساوي ربع الطول الموجي ($\lambda/4$) ويتم توصيلها بين خط النقل والحمل.

ب- طريقة الأعقاب الرنينية المتوازية Shunt Stubs Method

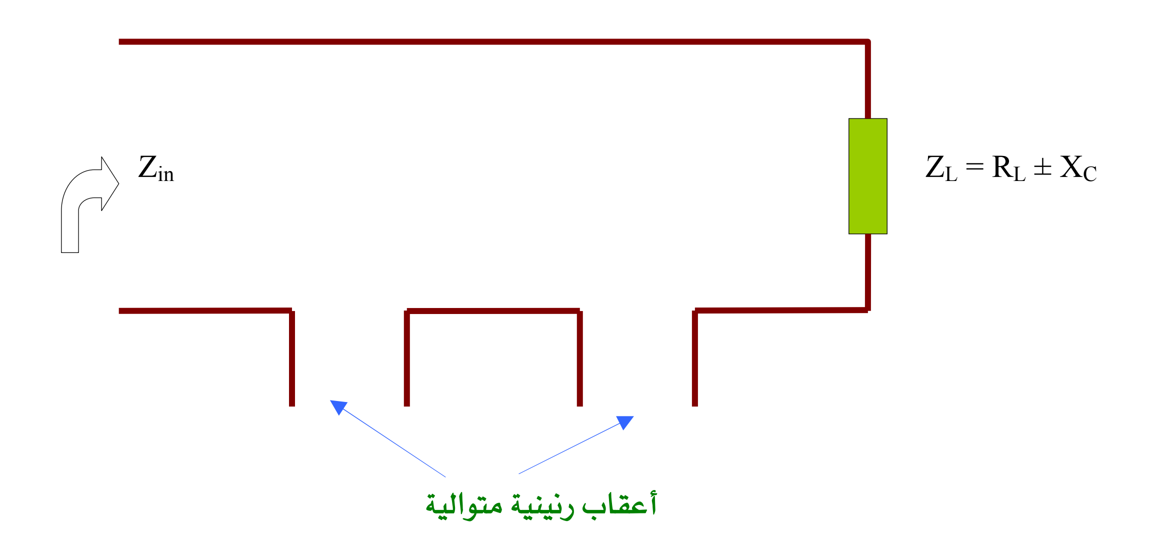
تستخدم هذه الطريقة في حالة كون ممانعة الحمل ذات طبيعة حثية (مقاومة وملف) حيث يتم توصيل عقب أو اثنين (الشكل ١- ٨) بشكل موازٍ لخط النقل حيث يتم التخلص من الجزء التخيلي من الممانعة وبذلك تصبح ممانعة الخط تساوي ممانعة الحمل ($Z_c = Z_L$).



الشكل (١- ٨) طريقة الأعقاب الرنينية المتوازية للحصول على الموائمة الكلية

جـ - طريقة الأعقاب الرنينية المتوالية Series Stubs Method

تستخدم هذه الطريقة في حالة كون ممانعة الحمل ذات طبيعة سعوية (مقاومة ومكثف) حيث يتم توصيل عقب أو اثنين (الشكل ١- ٩) على التوالي مع خط النقل حيث يتم التخلص من الجزء التخيلي من الممانعة وبذلك تصبح ممانعة الخط تساوي ممانعة الحمل ($Z_c = Z_L$).



الشكل (١- ٩) طريقة الأعقاب الرنينية المتوالية للحصول على الموائمة الكلية

١- ٤ تطبيقات خطوط النقل Transmission Lines Applications

- **اولا تطبيقات الخطوط الثنائية:**

- الشبكات الهاتفية لتوصيل الخدمة من المقاسم للمباني (خطوط المشتركين)
- التمديدات داخل المباني
- الشبكات المحلية (LAN)

- **ثانيا تطبيقات الكيبلات المحورية:**

- خطوط نقل المعلومات للمسافات البعيدة (أكثر من (10,000) مكالمة عبر الكيبل الواحد)
- شبكات توزيع برامج التلفزيون (CTVD)
- للربط بين أجهزة الكمبيوتر
- الشبكات المحلية (LAN)

تدريبات على الوحدة الأولى

تمرين١: أوجد الممانعة المميزة لخط نقل ثنائي له المواصفات التالية:

X=1 cm d=2 mm

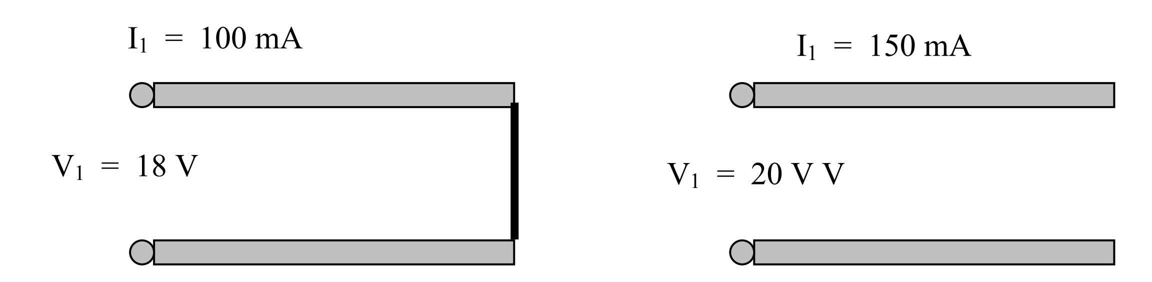
f = 100 MHz ε_r =2

تمرين٢: أوجد الممانعة المميزة لكيبل محوري بالمواصفات التالية:

D = 10 mm d = 1 mm

f = 100 MHz ε_r = 4

تمرين ٣: أوجد الممانعة المميزة لخط النقل الموضح أدناه:



تمرين٤: لديك كيبل محوري تم وصله إلى جهاز استقبال برامج المحطات الفضائية (Satellite Receiver). أوجد معامل الانعكاس كنسبة مئوية إذا علمت أن ممانعة الجهاز (70 Ω) والممانعة المميزة للكيبل (75 Ω).

تمرين٥: وضّح المعلومات التالية:

- خط النقل الثنائي يعتبر خطاً متوازناً كهر بائياً.
- خط النقل الثنائي المفتوح يعتبر أسوأ خطوط النقل.
- سعة نقل المعلومات عبر الكيبل المحوري عالية نسبياً.
- نوعية النقل عبر الكيبل المحوري أفضل منها بكثير عبر الخطوط الثنائية المفتوحة.
- يمكننا اعتبار خط النقل الثنائي كمرشح للترددات المنخفضة (LPF).
- عند ربط وتوصيل خطوط النقل مع بعضها البعض يجب مراعاة موائمة الممانعات.

- يستخدم في بعض الكيبلات المحورية طبقة من الألمنيوم تحت الغطاء الخارجي.
- يفضّل من ناحية عملية استخدام الكيبلات المحورية ذات القطر الأكبر.
- العمر التشغيلي لخطوط النقل الثنائية المفتوحة أقل بكثير منه للكيبلات المحورية.

خطوط النقل والألياف البصرية

الألياف البصرية

الوحدة الثانية : الألياف البصرية

الجدارة: القدرة على التعرف على مبدأ عمل وأنواع وأساسيات الألياف البصرية ومواصفاتها العملية...

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المتدرب القدرةعلى أن:

- يعرف مبدأ عمل الألياف البصرية.
- يعرف الخصائص الأساسية لليف البصري.
- يتعرف على أنواع الألياف البصرية.
- يتعرف على الشروط اللازمة للحصول على الليف أحادي النمط.
- يتعرف على مجموعات وتصنيف الألياف البصرية ومواصفاتها العملية.

مستوى الاداء المطلوب: أن يصل المتدرب على إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ٧ ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج "Power Point" لعرض المحاضرات عن الألياف البصرية.

متطلبات الجدارة:- أن يكون المتدرب ملماً بمحتوى الوحدة الأولى ومقرر أساسيات الاتصالات.

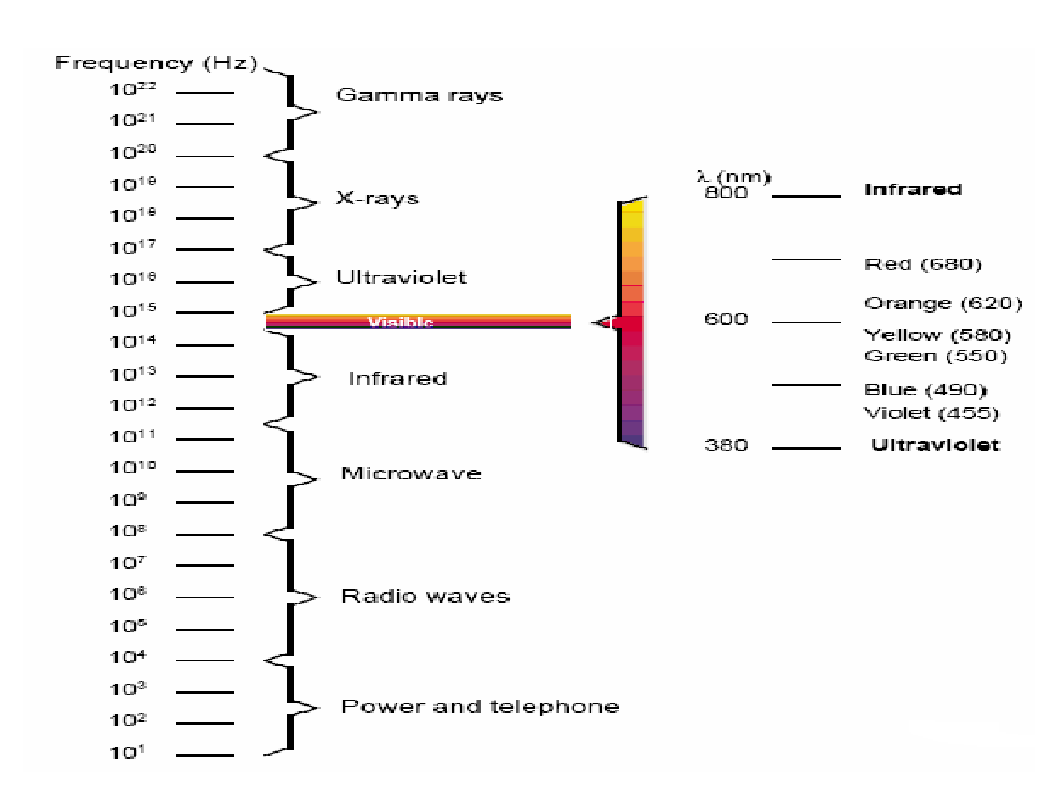
الألياف البصرية

Optical Fibers

مقدمة

تعمل أنظمة الاتصالات البصرية والتي تستخدم الليف البصري كخطوط نقل على ترددات عالية جداً في مدى الترددات الضوئية (انظر الشكل ٢ - ١). بعبارة أخرى تعمل هذه الأنظمة على أطوال موجات قصيرة جداً (في مجال قيم النانومتر nm). يبدأ نطاق الترددات الضوئية عند حوالي (10^{12} Hz) ولغاية (10^{16}Hz) ونظرا لكبر قيم هذه الترددات يتم استخدام قيم الطول الموجي بدلا من قيم التردد للتعبير عن الإشارات الضوئية المستخدمة في نظم الاتصالات البصرية. من الشكل(٢- ١) نجد أن الترددات الضوئية تنقسم إلى:-

- الضوء المرئي (Visible Light) (من 380 nm إلى 800 nm).
- الأشعة تحت الحمراء (Infrared) بأطول موجية أعلى من (800 nm).
- الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet) بأطول موجية أقل من (380 nm).



الشكل (٢- ١) توزيع النطاقات الترددية للضوء

ويتكـون الـضوء المرئـي مـن مجموعـة ألـوان رئيـسة تـسمى ألـوان الطيـف. جـدول (٢ - ١) يوضـح الألـوان الرئيسة المكونة للضوء المرئي والتردد والطول الموجي المقابل لكلٍ منها.

جدول (٢- ١) الألوان الرئيسة للضوء

اللون	الطول الموجي [nm]	التردد [Hz]
الاشعة فوق البنفسجية	380	7.9×10^{14}
بنفسجي	455	6.59×10^{14}
أزرق	490	6.12×10^{14}
أخضر	550	5.45×10^{14}
أصفر	580	5.17×10^{14}
برتقالي	620	4.83×10^{14}
أحمر	750	4×10^{14}
الأشعة تحت الحمراء	800	3.75×10^{14}

ملحوظة: يمكن الحصول على أي لون بإستخدام ثلاثة ألوان فقط هي "الأحمر – الأخضر – الأزرق" وذلك بخلطهم معاً بنسب مختلفة.

٢- ١ مميزات الألياف البصرية Advantages of Optical Fibers

الألياف البصرية لها مميزات عديدة جعلتها أحد نظم الاتصالات الحديثة الرئيسة وهـذه المميـزات تعـود في الأسـاس إلى عـاملين أساسـين الأول أن الأليـاف البـصرية تـصنع مـن مـواد عازلـة (الزجـاج أو البلاستيك) والثاني أن الإشارة المنقولة عبر الليف البصري إشارة ضوئية، وأهـم مميـزات الأليـاف البـصرية هـي:-

٢ - ١- ١ سعة الإرسال العالية Large Transmission Capacity

تتميز أنظمة الاتصالات المستخدمة للألياف البصرية بأكبر سعة إرسال للمعلومات ويعود ذلك لكون الترددات التي تعمل عليها عالية جداً (حوالي 10^{14} Hz) مما ينتج عنه عرض نطاق ترددي عالٍ جداً وهذا يعني كماً هائلاً من المعلومات بمختلف أشكالها يمكن إرساله عبر هذه الألياف وبالمقارنة، فإن سعة الإرسال في أنظمة الاتصالات باستخدام الألياف البصرية أكبر بآلاف المرات منها في أي نظام اتصال آخر

٢- ١- ٢ المناعة ضد التداخل الكهرومغناطيسي Immunity to interference

كما هو معلوم، تصنّع الألياف البصرية من مواد عازلة (الزجاج أو البلاستيك) مما يجعلها لا تتأثر بالمجالات الكهرومغناطيسية المحيطة بها، إن هذه الميزة تجعل من الألياف البصرية مناسبة للتطبيقات في المناطق ذات المجالات الكهرومغناطيسية العالية والقريبة من خطوط الضغط العالي.

٢- ١- ٣ الفقد القليل Low Loss

لقد تم تطوير الألياف البصرية في السنوات الأخيرة حيث تصنّع الآن بمعامل فقد صغيرة جداً تصل إلى أقل من (0.2 dB/km) على الطول الموجي ($\lambda = 1550$ nm) حيث تعتبر هذه الأرقام متميزة ولا يوجد منافس لها في أي نوع من أنواع خطوط النقل، وتعتبر هذه الميزة من أهم ميّزات الألياف البصرية لكونها تؤدي إلى بناء أنظمة اتصال بعيدة المدى بأقصى مسافة ممكنة بين محطات التقوية وإعادة البث (المعيدات Repeaters) (تصل إلى أكثر من 100 km أحياناً) مما يعني خفض التكاليف بنسبة عالية جداً.

٢- ١- ٤ صغر الحجم والوزن Small Size and Weight

تصنّع الألياف البصرية بمقاسات صغيرة جداً (القطر حوالي 125 µm) وهو ما يكافئ سماكة شعرة الانسان (بالرغم من الطبقات الإضافية البلاستيكية التي تغلف الليف البصري فإن سماكتها ووزنها يبقى أقل بكثير من الكيبلات المحورية) إن هذه الميزة أعطت الألياف البصرية إمكانية الاستخدام في الطائرات والسفن والأقمار الاصطناعية كبديل للكيبلات النحاسية الكبيرة الحجم و الثقيلة الوزن.

٢- ١- ٥ السريّة العالية Greater Security

يعتمد مبدأ عمل الألياف البصرية على الانعكاس الكلي الداخلي والذي سنشرحه لاحقاً، مما يتيح للضوء الانتشار شبه الكامل داخل الليف وبالتالي ليس من الممكن أن يتم التقاط أو استقبال أي جزء من الضوء المنتشر والذي يحمل المعلومات المرسلة من ناحية أخرى، ولأن الليف البصري لا يعتبر خطاً كهربائياً فلا يمكن الدخول عليه على التوازي كما هو الحال في الخطوط الكهربائية الاعتيادية (الخطوط الثنائية والكيبلات المحورية). إن هذه الميزة تجعل من الألياف البصرية الأفضل في التطبيقات العسكرية وتراسل البيانات ما بين البنوك والمراكز المهمة.

٢- ١- ٦ المرونة العالية Flexibility

تقوم المصانع بإنتاج ألياف بصرية متينة وصلبة تتمتع بقوة تحمّل عالية وذات نصف قطر انحناء صغير جداً مما يجعلها سهلة ومناسبة في النواحي التالية: التخزين، والنقل، والحمل، والتركيب.

٢- ١- ٧ درجة عالية من الأمان Greater Safety

كما أشرنا سابقاً، فإن الألياف البصرية ليست خطوطاً كهربائية والذي ينتشر خلالها هو الضوء وليس التيار الكهربائي فلا يوجد خطورة من حدوث صدمات كهربائية في حالات الأعطال أو قطع الكيبل البصري. أما الخطورة الوحيدة فسببها الليزر المستخدم في جهة الإرسال لذلك يجب أخذ الحيطة والحذر وخاصة عندما تكون قدرة الليزر عالية نسبياً.

٢- ١- ٨ عمر افتراضي أطول Longer Life Span

تتراوح مدة تشغيل الألياف البصرية من 20 إلى 30 سنة في حين مدة تشغيل الكيبلات النحاسية تتراوح ما بين من 12 إلى 15 سنة ويعود ذلك إلى أن الألياف البصرية تصنع من الزجاج أو البلاستيك وهذه المواد غير قابلة للصدأ مما يجعلها تخدم لفترات طويلة.

٢- ١- ٩ السهولة في توسعة إمكانيات النظام Ease of Expansion System Capability

يمكننا وببساطة زيادة الطاقة الاستيعابية ورفع كفاءة النظام عن طريق استبدال بعض المكونات الأساسية (مثل استبدال مصدر الضوء أو الكاشف الضوئي أو استخدام تجميع القنوات عن طريق التقسيم الموجي WDM) دون حاجة لاستبدال الكيبل الموجود أو إضافة خطوط جديدة.

٢- ١- ١٠ نوعية اتصال عالية High Quality Transmission

نظراً لقلة الفقد ولما تتمتع به الألياف البصرية من مناعة عالية ضد التأثيرات الكهرومغناطيسية المختلفة وتدني مستوى التداخل بين الخطوط المتجاورة فإن نوعية الاتصال عالية جداً مقارنة مع مثيلاتها من خطوط النقل الأخرى السلكية واللاسلكية.

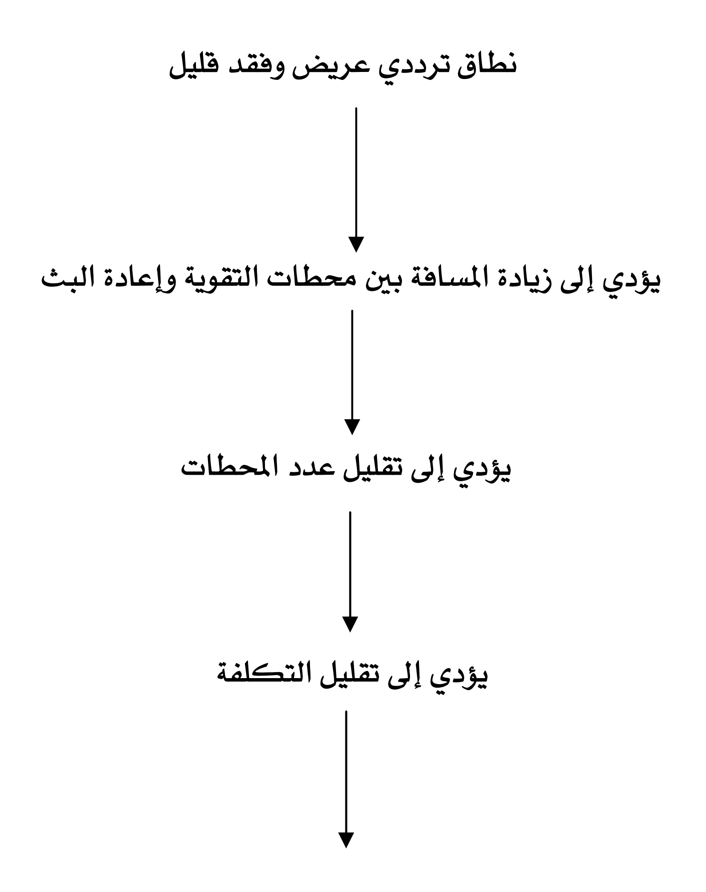
للمقارنة نقدم معدل الخطأ في البيانات (BER) في كل من نظام الميكروويف والاتصالات البصرية:

في أنظمة الاتصالات باستخدام الميكروويف والكيبلات المحورية $BER = 10^{-6}$

في أنظمة الاتصالات باستخدام الألياف البصرية $BER \leq 10^{-9}$

١- ٢- ١١ قلة تكاليف التركيب والتشغيل Low Installation and Operation Cost

يمكننا توضيح هذه الخاصية المهمة على المخطط التالي:



٢- ٢ عيوب الألياف البصرية Optical Fiber Disadvantages

هنالك بعض السلبيات والعيوب للألياف البصرية أهمها :

١. ارتفاع أسعار مكونات النظام مقارنة بأنظمة الاتصالات الكهربائية.

٢. ارتفاع تكاليف أجهزة الإرسال والاستقبال.

٣. ارتفاع تكاليف عملية التوصيل واللحام لأنها تحتاج أجهزة خاصة وفنيين ذو مهارة عالية.

٤. الألياف البصرية لا تستطيع نقل الكهرباء لتغذية محطات التقوية وإعادة البث.

لكن هذه العيوب نسبية إذا ما قورنت بالمميزات الهائلة للألياف البصرية، وكذلك مع تطور التقنيات في هذا المجال فإنها تتلاشى تدريجياً.

٢- ٣ تطبيقات الألياف البصرية Fiber Optic Applications

لقد بدأ تطبيق واستخدام الألياف البصرية منذ الثمانينات حيث اقتصر استخدامها آنذاك على بعض الخطوط وفي أماكن محددة، لكن وخلال السنوات الأخيرة انتشر استخدام الألياف البصرية بشكل واسع جداً وفي جميع دول العالم حيث تم تركيب ملايين الكيلومترات من خطوط الألياف البصرية.

إن أهم مجالات تطبيق الألياف البصرية في الوقت الحالي هي:

- الاتصالات بعيدة المدى Long Distance Telecommunications.
- شبكات الهاتف المحلية Local Telephone Networks.
- البث التلفزيوني عبر الكيبل CTVD.
- الإنترنت ونقل البيانات Internet and data communications.
- الاتصالات العسكرية Military Communications.

٢- ٤ أساسيات الالياف البصرية Fundamentals of Optical Fiber

تعتبر الألياف البصرية المكوّن الأساسي لأنظمة الاتصالات البصرية، حيث يستخدم الضوء كناقل للمعلومات (Carrier). ولتوضيح وفهم آلية عمل الضوء هنالك ثلاثة مداخل واعتبارات لتفسير ذلك:

- اعتبار أن الضوء موجة كهرومغناطيسية وذلك باستخدام نظرية الموجة (Wave Theory).
- اعتبار أن الضوء كخط أو شعاع وذلك باستخدام علم البصريات (Geometric Optics).
- اعتبار أن الضوء كحزمة من الفوتونات (Photons) وذلك باستخدام نظرية الكم (Quantum Theory).

وحتى نفهم مبدأ وآلية عمل الليف البصري، سوف نستخدم الاعتبار الثاني ونقوم بدراسة الضوء كشعاع يتحرك باتجاه وزاوية معينة وبذلك سينطبق عليه القوانين الأساسية في علم البصريات الضوئية (قوانين سنل،والانعكاس، والانكسار، ... إلخ).

٢- ٤- ١ نظرية الشعاع الضوئي Light Ray Theory

كما هو معلوم، فإن الضوء ينتشر كشعاع باتجاه وسرعة معينة تعتمد قيمتها على نوع الوسط الذي يتم فيه الانتشار، بمعنى آخر فإن كل وسط يعيق انتشار الضوء خلاله بنسب متفاوتة تبعا لكثافته مما يعني أن سرعة انتشار الضوء عبر أي وسط أقل منها في الفراغ. إن هذه الخاصية للمواد والوسائط المختلفة تسمى معامل الانكسار للمادة أو الوسط ويرمز له (n). ويمكننا إيجاد سرعة انتشار الضوء في أي وسط آخر (c_n) ذي معامل انكسار (n) باستخدام العلاقة التالية:

$$c_n = c/n \qquad (2.1)$$

حيث إن

c ترمز إلى سرعة انتشار الضوء في الفراغ ($c = 3 \times 10^8$ m/s).

يقدم الجدول (٢ -٢) أمثلة لمعامل الانكسار لبعض المواد.

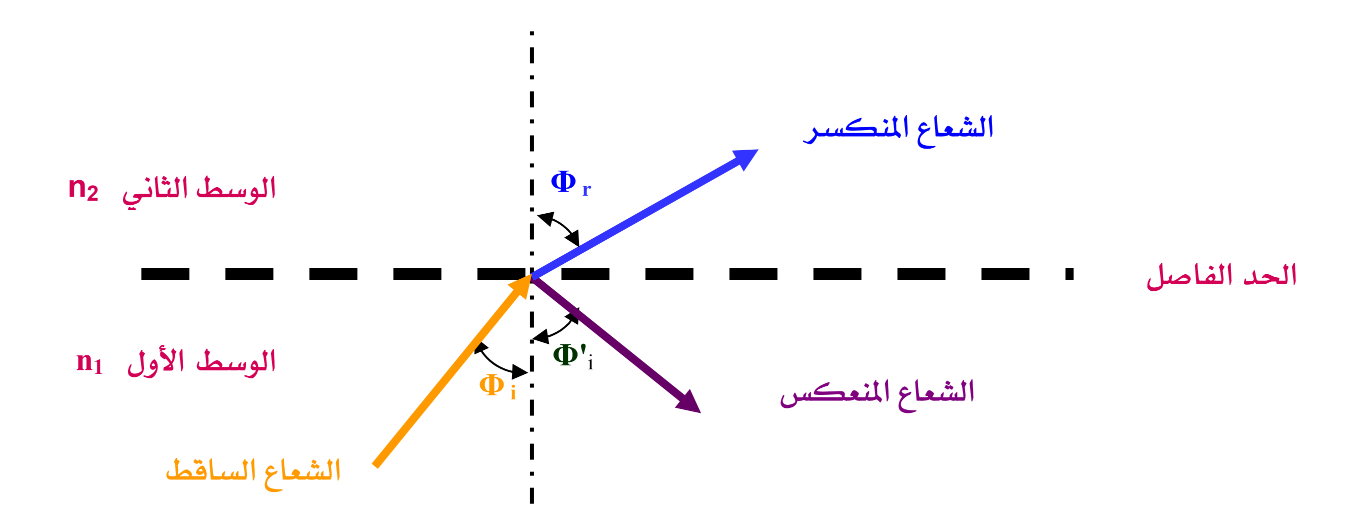
جدول (٢ - ٢) معامل الانكسار لبعض المواد

المادة	معامل الانكسار
هواء	1
ماء	1.33
زجاج	1.5
سيليكون	3.5
جرمانيوم	4
بوليسترين	1.59

أ - قانون سنل Snell's Law

يعتبر قانون سنل من القوانين الأساسية في علم البصريات والذي يعطي العلاقة ما بين الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والزوايا المصاحبة لذلك. يوضح الشكل (٢ - ٢) الرسم التوضيحي لفكرة قانون سنل حيث إن المصطلحات والرموز المستخدمة هي:

- الشعاع الساقط (Incident Ray)
- الشعاع المنعكس (Reflected Ray)
- الشعاع المنكسر (Refracted Ray)
- Φ_i زاوية السقوط (Incident Angle)
- Φ_r زاوية الانكسار (Refracted Angle)
- Φ'_i زاوية الانعكاس (Reflected Angle)



الشكل (٢ - ٢) الشعاع الساقط، والمنعكس والمنكسر

يمكننا كتابة قانون سنل على الشكل التالي:

$$n_1 \sin \Phi_i = n_2 \sin \Phi_r \qquad (2.2)$$

حيث إن (n_1) ترمز إلى معامل الانكسار لوسط السقوط "الوسط الأول" و (n_2) ترمز إلى معامل الانكسار لوسط الانكسار "الوسط الثاني" .

قانون سنل الاول: من العلاقة (٢,٢) وبما أن الانعكاس يكون في نفس وسط السقوط نجد أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس ($\Phi_i = \Phi'_i$).

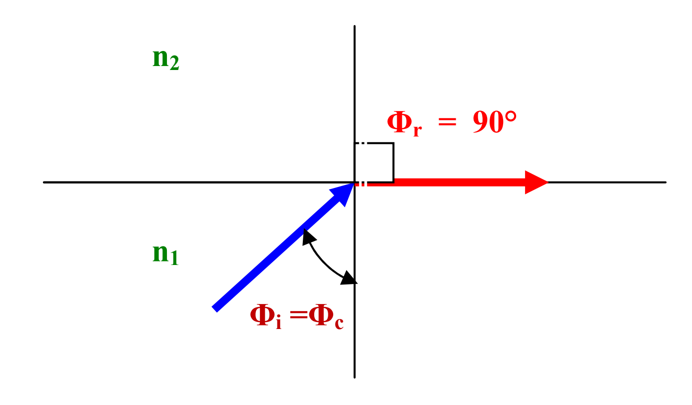
قانون سنل الثاني: سنعيد كتابة قانون سنل (العلاقة 2.2) لتصبح على الشكل التالي:

$$\frac{\sin \Phi_i}{\sin \Phi_r} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (2.3)$$

وبالتالي عندما يكون ($n_1 > n_2$) فإن ($\Phi_i < \Phi_r$) والعكس صحيح أي أن الشعاع ينكسر ناحية الوسط الأعلى كثافة

ب- الزاوية الحرجة " θ_c " Critical Angle

تعرف الزاوية الحرجة بأنها الحالة الخاصة لقيمة زاوية سقوط الشعاع التي تجعل زاوية الانكسار تساوي (90^o) وذلك عندما تكون كثافة وسط السقوط أعلى من كثافة وسط الانكسار ($n_1 > n_2$)، انظر الشكل (٢- ٣). في هذه الحالة ينتشر الشعاع المنكسر بشكل موازياً للحد الفاصل بين الوسطين الأول والثاني.



الشكل (٢- ٣) حالة الزاوية الحرجة للسقوط

بالرجوع إلى قانون سنل، يمكننا الحصول على العلاقة التالية لحساب الزاوية الحرجة (Φ_c):

$$n_1 \sin \Phi_i = n_2 \sin \Phi_r$$

$$n_1 \sin \Phi_c = n_2 \sin 90^o$$

$$n_1 \sin \Phi_c = n_2$$

$$\sin \Phi_c = n_2/n_1$$

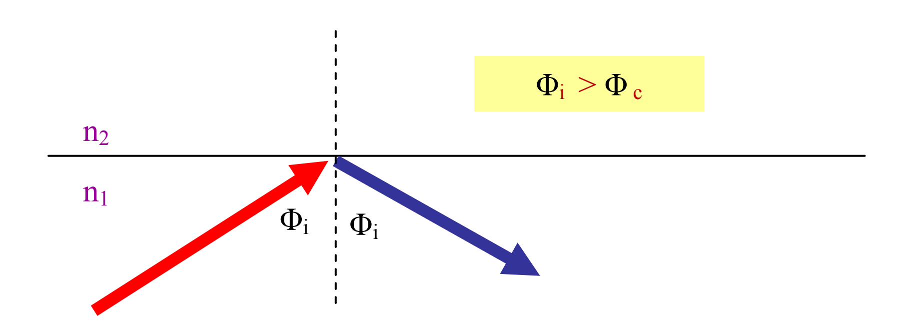
$$\Phi_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \qquad (2.4)$$

و لأن جيب أي زاوية لا يمكن أن يكون أكبر من "1" فبالتالي دائماً ($n_2 / n_1 \leq 1$)

وبالتالي فإن (n_2) يجب أن تكون أصغر من(n_1) لنحصل على زاوية انكسار تساوي (90^o)

جـ- الانعكاس الكلي الداخلي Total Internal Reflection

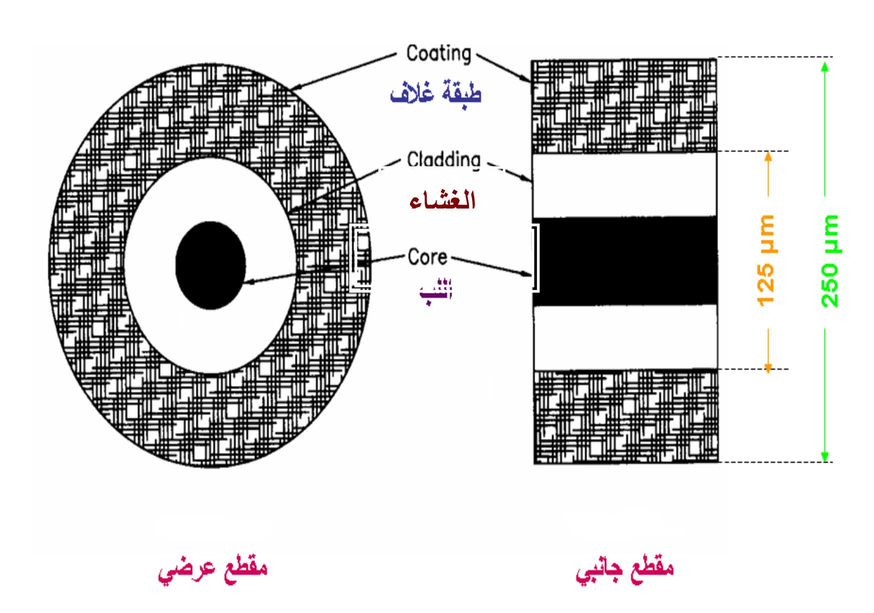
كما يتضح لنا من قانون سنل، فإنه كلما تغيرت زاوية السقوط كلما رافقها تغير في زاوية الانكسار. وفي حالة كون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة ($\Phi_i > \Phi_c$) فإن الضوء ينعكس بالكامل (لا يحدث انكسار)، حيث تسمى هذه الظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي. ويجب التأكيد هنا على الشرط التالي: يجب أن يسقط الضوء من الوسط ذي معامل الانكسار الأعلى (n_1) إلى الوسط ذي معامل الانكسار الأقل (n_2) حتى نحصل على الانعكاس الكلي الداخلي كما بالشكل (٢- ٤).



الشكل (٢- ٤) الانعكاس الكلي الداخلي

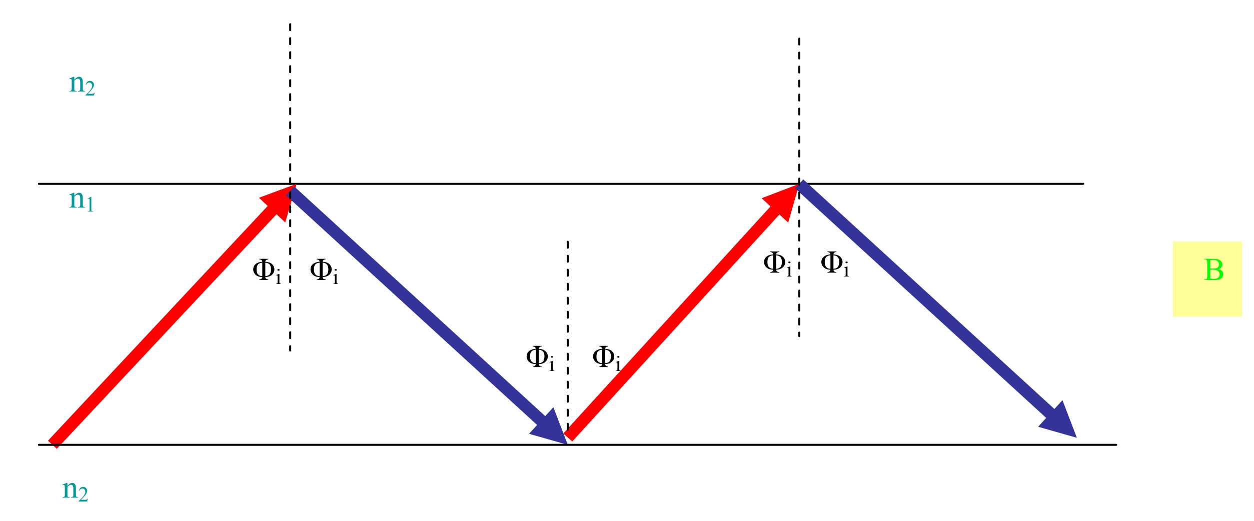
د - تركيب الليف البصري :-

يعتمد انتشار الضوء عبر الألياف البصرية على مبدأ الانعكاس الكلي الداخلي، حيث يمكننا اعتبار الليف البصري كأنبوب زجاجي مكون من طبقتين: الطبقة الداخلية وتسمى اللب (Core) ولها معامل انكسار (n_1) وطبقة محيطة بها تسمى الغشاء (Cladding) ولها معامل انكسار (n_2) وحتى نعطي الليف المتانة ودرجة التحمل اللازمة يجب إضافة طبقة غلاف أولي (Coating) بلاستيكية لتغطية محيط الليف. إذا سقط الضوء بزاوية أقل من الزاوية الحرجة (Φ_c) فإن جزءاً من الضوء ينعكس داخل لب الليف (انعكاس داخلي جزئي) وجزء آخر سوف ينكسر عبر غشاء الليف مما يؤدي إلى خروجه من الليف وبالتالي يؤدي إلى وجود فقد. لذا يجب أن تكون زاوية السقوط أعلى من الزاوية الحرجة حتى يحدث "انعكاس داخلي كلي". ويوضح الشكل (٢- ٥) المقطع العرضي والجانبي لليف البصري مع تبيان الطبقات الرئيسة المكونة له.



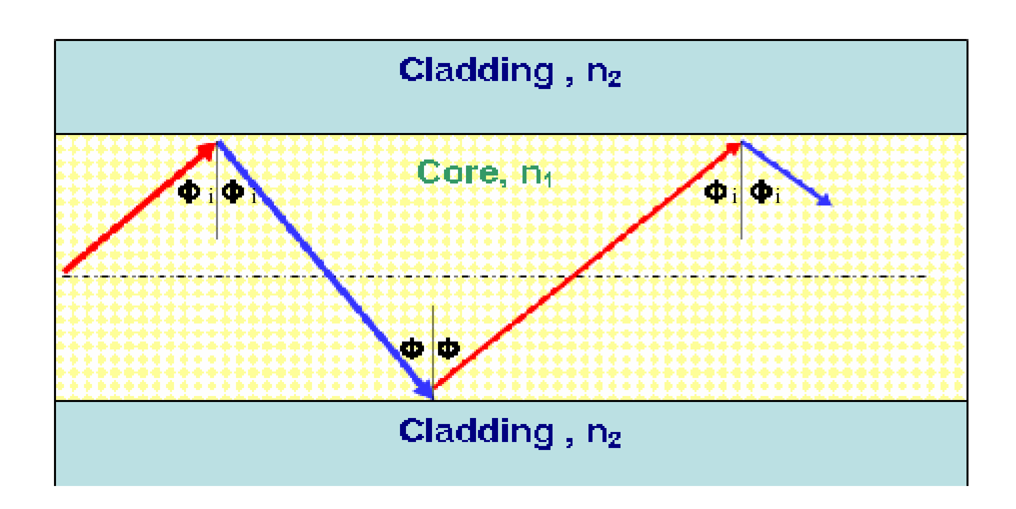
الشكل (٢ - ٥) المقطع العرضي والجانبي لليف البصري

لتوضيح عملية انتشار الضوء عبر الليف البصري يمثل الشكل (٢- ٦) انتقال الشعاع الضوئي من النقطة (A) إلى النقطة (B) بزاوية سقوط (Φ_i) حيث يكون الانتشار خلال لب الليف بالكامل وذلك طبقاً لمبدأ الانعكاس الكلي الداخلي، مع ملاحظة أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.



الشكل (٢- ٦) انتشار الشعاع الضوئي تبعا لمبدأ الانعكاس الكلي الداخلي

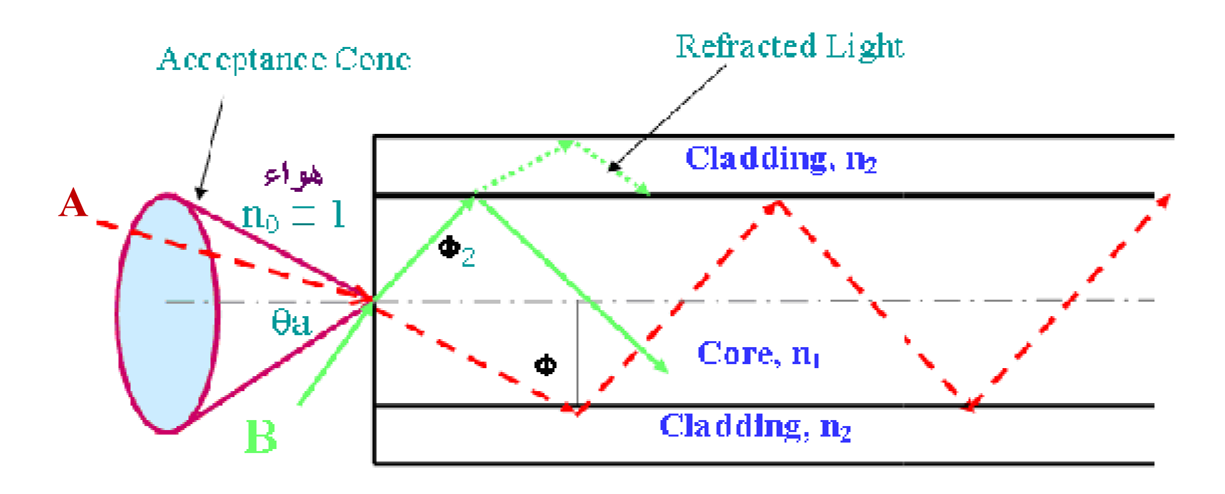
بناء على التوضيح السابق يكون انتشار الضوء عبر الليف البصري داخل منطقة اللب (Core) حيث ينعكس بالكامل من السطح الفاصل بين اللب والغشاء (Cladding) كما هو موضح في الشكل (٢- ٧).



الشكل (٢- ٧) انتشار الضوء عبر الليف البصري

هـ- زاوية القبول "θ_a" Acceptance Angle

تعتبر زاوية القبول (θ_a) من القيم العددية التي يتوجب معرفتها عن الليف البصري. وتعرف زاوية القبول بأنها الزاوية التي يجب أن يدخل الشعاع بزاوية تساويها أو أقل منها حتى يحقق الانعكاس الكلي الداخلي وبالتالي ينتشر عبر الليف بشكل صحيح وبأقل فقد ممكن وحتى يتضح المعنى المقصود بها نستعين بالرسم المبين بالشكل (٢- ٨).



الشكل (٢- ٨) زاوية القبول عند إدخال الضوء إلى الليف البصري

يتضح من الشكل أن الشعاع (A) يدخل إلى الليف بزاوية أقل من الزاوية (θ_a) ويصل إلى الحد الفاصل بين اللب والغشاء بزاوية (Φ_i) تكون أكبر من الزاوية الحرجة (Φ_c) وبذلك يتابع مساره عبر الليف بشكل صحيح (يحقق الانعكاس الكلي الداخلي). يدخل الشعاع (B) إلى الليف البصري بزاوية أكبر من زاوية القبول (θ_a) حيث يصل إلى الحد الفاصل بين اللب والغشاء بزاوية أقل من (Φ_c)وبذلك فإن جزء منه ينكسر باتجاه الغشاء ويخرج خارج الليف مما يتسبب في فقد جزء من الضوء المنتشر وبذلك لا يمكن له أن يحقق شرط الانعكاس الكلي الداخلي.

لذلك حتى يتم إرسال الضوء لأطول مسافة ممكنة يجب مراعاة إدخال الضوء لليف بزاوية لا تتجاوز قيمة (θ_a) . فراغياً وحسب قيمة (θ_a) فإنه يتشكل ما يشبه المخروط عند مقدمة الليف والذي يسمى مخروط القبول (Acceptance Cone)، وسوف نتعرف في الجزء اللاحق على كيفية حساب زاوية القبول لليف البصري.

و- **فتحة النفوذ العددية** "NA" Numerical Aperture

هنالك قيمة عددية أكثر شمولاً من زاوية القبول (θ_a) والتي تمثل أو تعبر عن العلاقة ما بين إمكانية إدخال الضوء لليف بشكل صحيح ومعاملي الانكسار لكل من لب الليف (n_1) والغشاء (n_2). تسمى هذه القيمة أو العلاقة فتحة النفوذ العددية (NA) والتي يمكن إيجادها من خلال العلاقة التالية:

$$NA = n_o \sin\theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \qquad (2.5)$$

حيث إن (n_o) ترمز إلى معامل الانكسار للوسط الفاصل بين المصدر الضوئي ومقدمة الليف (عادةً ما يكون الهواء $n_o = 1$) ومنها:

$$\theta_a = \sin^{-1}(NA) \qquad (2.6)$$

يمكننا أيضاً التعبير عن (NA) بدلالة الفرق النسبي (Δ) بين (n_1) و (n_2):

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \qquad (2.7)$$

حيث إن (Δ) تحسب وفقاً للعلاقة التالية:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \qquad (2.8)$$

للتذكير فإن:

- θ_a تأخذ قيم بين الصفر و 90^o
- NA بين الصفر و الواحد
- Δ تكون عادة أقل بكثير من الواحد ($\Delta << 1$)

في الواقع العملي عادةً ما تستخدم العدسات بين المصدر الضوئي ومقدمة الليف للمساعدة في تجميع الضوء وتركيزه بحيث يسهل إدخاله إلى الليف، وبنفس الطريقة تستخدم العدسات لإيصال الضوء من مخرج الليف إلى الكاشف الضوئي.

يمكننا تلخيص شروط الانعكاس الكلي الداخلي عبر الليف البصري على النحو التالي:

١. أن يكون معامل الانكسار للب (n_1) أكبر منه للغشاء المحيط به (n_2)

٢. أن تكون زاوية الانعكاس للضوء على الخط الفاصل بين اللب والغشاء (Φ_i) أكبر من الزاوية الحرجة (Φ_c)

٣. أن تكون زاوية دخول الضوء لليف البصري (θ) أقل من أو تساوي زاوية القبول (θ_a)

٢ - ٥ أنماط الانتشار في الليف البصري Fiber Modes

ينتشر الضوء عبر الليف البصري على شكل عدد محدد من الحزم الضوئية (Beams) أو الأشعة (Rays) وبزوايا معينة ذات قيم محددة. تسمى هذه الأشعة أو الحزم الضوئية المختلفة بأنماط الانتشار (Propagation Modes)، حيث يرتبط كل شعاع بنمط انتشار معين. لذلك تستخدم الأرقام الجانبية بجانب اسم النمط (Mode Index) لتميزها عن بعضها البعض.

حتى نتمكن من الحصول على هذه الأنماط المنتشرة في الألياف البصرية يجب استخدام النظرية الكهرومغناطيسية وتطبيق معادلات ماكسويل على حالة الليف البصري وإيجاد الحلول لها، حيث يتطلب ذلك مستوى عالٍ من الرياضيات ونظريات الانتشار الكهرومغناطيسي، لذلك سنتعرف وبشكل مبسط وسريع على الأنواع الأساسية للأنماط المنتشرة عبر الليف البصري وهي:

- أنماط كهربائية عرضية (Transverse Electric Modes) ويرمز لها TE - modes
- أنماط مغناطيسية عرضية (Transverse Magnetic Modes) ويرمز لها TM - modes
- أنماط هجينة (Hybrid Modes) تحتوي المجالين المغناطيسي والكهربائي من نوع HE
- أنماط هجينة (Hybrid Modes) تحتوي المجالين الكهربائي والمغناطيسي من نوع EH

وكمثال على طريقة تسمية أنماط الانتشار: HE_{11}, EH_{12}, TE_{01}, TM_{02} ......

٢- ٥- ١ التردد المعياري "V" Normalized Frequency

عند الحديث عن أنماط الانتشار عبر الليف البصري يجب التعرف على قيمة عددية تسمى التردد المعياري أو القيمة العددية V- (V-Number) لليف البصري والتي يمكننا حسابها حسب العلاقة التالية:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a\,NA \qquad (2.9)$$

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a\,n_1 \sqrt{2\Delta} \qquad (2.10)$$

حيث إن - λ الطول الموجي للضوء المنتشر داخل الليف

- a إلى نصف قطر لب الليف.

٢ - ٦ أنواع الألياف البصرية Optical Fiber Types

تنقسم الألياف البصرية إلى أكثر من نوع وذلك بالاعتماد على المعيار المستخدم لعملية التقسيم،وهذه المعاير هي تبعاً لتغير معامل الانكسار خلال اللب، و تبعا لعدد الأنماط المنتشرة خلال الليف البصري، و تبعا للمادة المصنوع منها الليف البصري.

- **اولاً: أنواع الالياف البصرية تبعا لتغيّر معامل الانكسار خلال لب الليف :-**

- ألياف عتبية (Step-Index Fibers) حيث يكون معامل الانكسار ذا قيمة ثابتة خلال لب الليف.
- ألياف تدريجية (Graded-Index Fibers) حيث يتغير معامل الانكسار بشكل تدريجي ضمن منطقة لب الليف.

- **ثانياً: أنواع الألياف البصرية تبعا لعدد الأنماط المنتشرة خلال الليف البصري:**

- ألياف متعددة الأنماط (Multimode Fibers) حيث ينتشر أكثر من نمط.
- ألياف أحادية النمط (Single Mode Fibers) حيث ينتشر نمط واحد فقط HE_{11}.

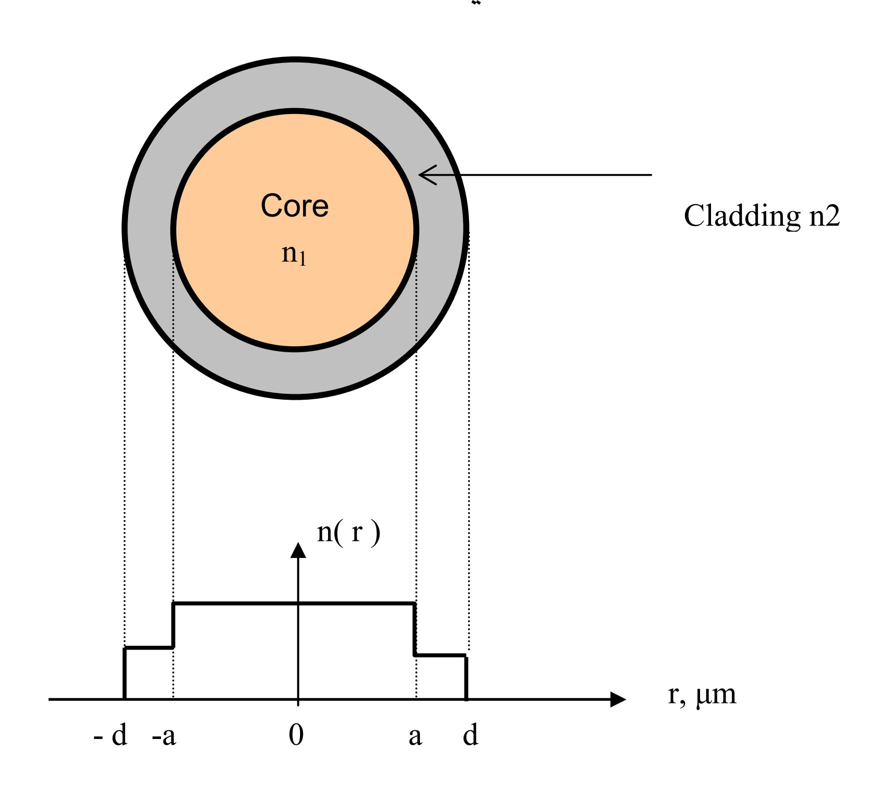
- **ثالثاً: أنواع الألياف البصرية تبعا للمادة المصنوعة منها إلى:**

- الألياف الزجاجية (Glass Optical Fibers) وتصنع من الزجاج النقي.
- الألياف البلاستيكية (Plastic Optical Fibers) وتصنع بالكامل من البلاستيك.
- ألياف بصرية يكون اللب فيها مصنوعاً من الزجاج بينما الغشاء من البلاستيك.

سنبدأ بدراسة الألياف متعددة النمط بنوعيها (العتبي والتدريجي) وبعدها ننتقل إلى الألياف أحادية النمط.

٢- ٦- ١ **الليف العتبي** Step-Index Fiber

لقد بدأ ظهور الألياف البصرية بهذا النوع تحديداً وذلك لسهولة التصميم والتصنيع، حيث يتم تصنيع لب الليف من الزجاج النقي بمعامل انكسار ثابت (n_1) بينما يصنع الغشاء من الزجاج أيضاً بمعامل انكسار ثابت ولكن ذو قيمة أقل (n_2)، وكما هو مبين بالشكل (٢- ٩) والذي يمثل كيفية تغيّر معامل الانكسار لليف البصري (n(r)) بالاعتماد على المسافة القطرية من مركز الليف (r).



الشكل (٢- ٩) تغيّر معامل الانكسار في الليف العتبي

يمثل الرمز (d) نصف قطر الغشاء والرمز (a) نصف قطر اللب كما أشرنا سابقاً حيث تعطى هذه القيم بوحدة الميكروميتر [μm]. إذا ما نظرنا إلى الشكل أعلاه فإننا نجد أن تغيّر معامل الانكسار من القيمة (n_2) إلى (n_1) أو العكس له شكل درجة السلّم أو العتبة ومن هنا جاءت التسمية "الليف العتبي".

يمكننا حساب عدد الأنماط المنتشرة (M_S) خلال الليف العتبي بالعلاقة التالية:

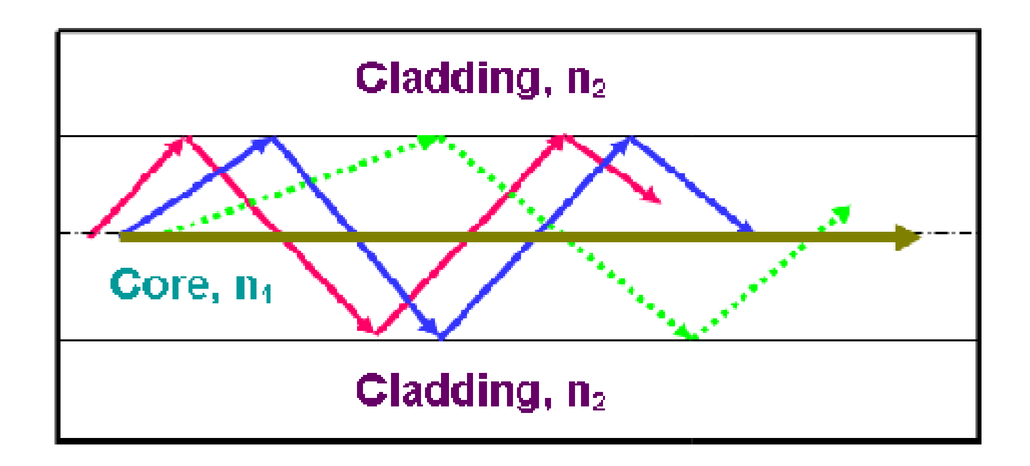
$$M_S = \frac{V^2}{2} \qquad (2.11)$$

و سرعة انتشار جميع الأنماط ثابتة ويمكن حسابها من العلاقة (2.1) وتساوي:

$$c_{n_1} = {}^{c}\!/_{n_1} \qquad (2.12)$$

حيث (n_1) معامل انكسار لب الليف.

إن سبب ثبات السرعة يعود إلى أن معامل الانكسار للب الليف ذو قيمة ثابتة وبالتالي فإن العلاقة (٢- ١٢) ثابته. وهندسياً تنتشر الحزم الضوئية أو الأشعة في الألياف العتبية ضمن منطقة لب الليف وتكون مساراتها على شكل خطوط مستقيمة (الشكل ٢- ١٠)، ويعود ذلك إلى أن الضوء يسير بخطوط مستقيمة خلال الوسط المتجانس (ذو معامل انكسار ثابت).

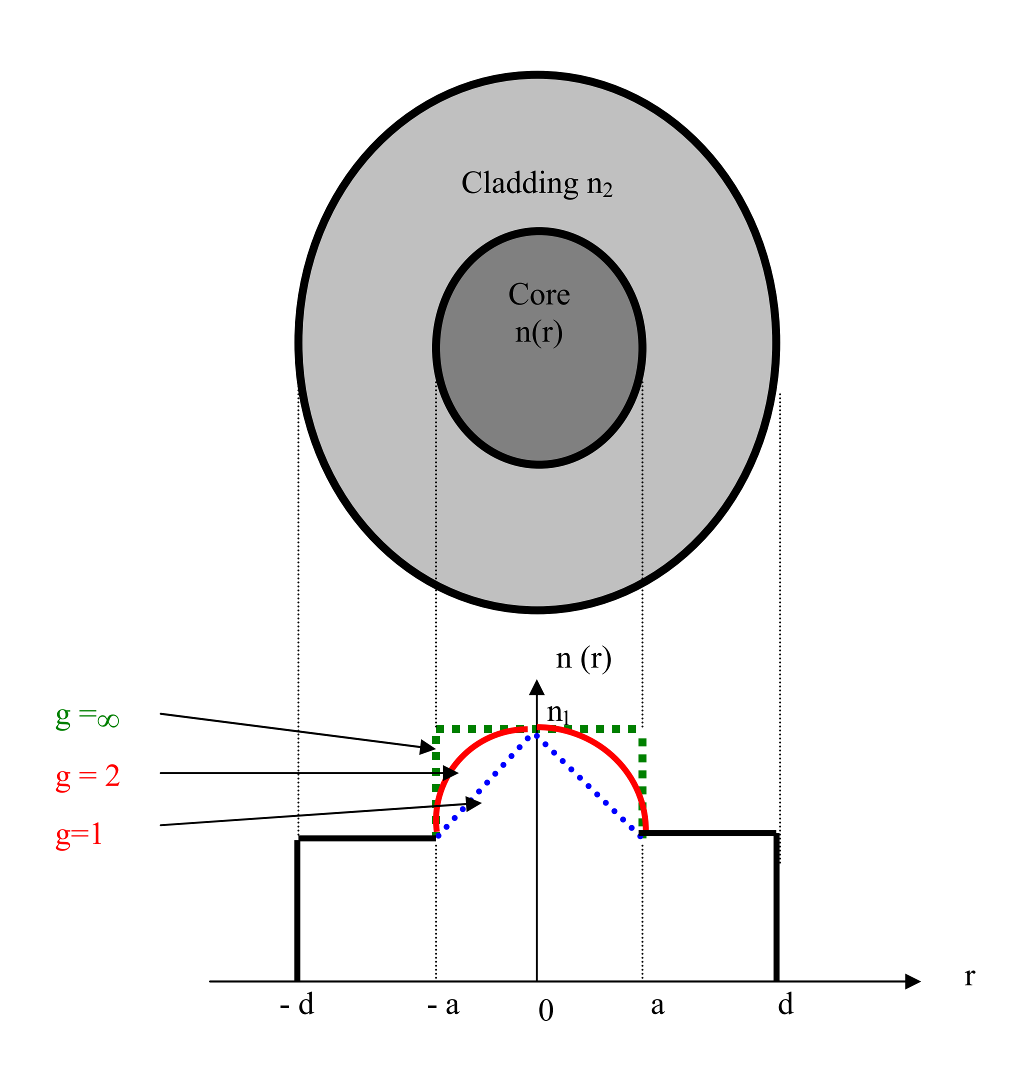


الشكل (٢ - ١٠) مسارات الحزم الضوئية خلال الليف العتبي

٢ - ٦ - ٢ الليف ذو المعامل التدريجي Graded Index Fiber

إن أهم ما يميز الألياف البصرية ذات معامل الانكسار التدريجي هو أن معامل الانكسار للب الليف البصري لا يكون ذا قيمة ثابتة وإنما يتغير وبشكل تدريجي بدءً من مركز اللب (أقصى قيمة ($n=n_1$) ولغاية الحد الفاصل بين اللب والغشاء (أدنى قيمة $n=n_2$)، حيث يأخذ هذا التغير التدريجي أشكالاً مختلفة: المثلثي (Triangular) أوالقطع المكافئ (Parabolic) أو أية أشكال أخرى تقع فيما بينهما. بينما يبقى معامل الانكسار ثابتاً للغشاء (n_2).

يتضح مما سبق أن معامل الانكسار لمنطقة لب الليف ذو قيمة متغيرة ويأخذ شكل دالة رياضية هي التي تحدد الأشكال سالفة الذكر. حيث إن (g) تمثل معامل هذه الدالة والتي تحدد تشكيل معامل الانكسار ضمن منطقة اللب (المثلثي، أو القطع المكافئ، أو ....) انظر الشكل (٢- ١١)



شكل (٢- ١١) تغير معامل الانكسار لليف ذو المعامل التدريجي

حيث يمكن أن تأخذ (g) أي قيمة حقيقية أكبر من واحد ، لكن ومن ناحية عملية وبعد إجراء العديد من التجارب، فقد وجد أن أفضل القيم هي (g= 1.98) ويسمى الشكل الناتج في هذه الحالة شبه القطع المكافئ (Near Parabolic Profile)، فعندما :-

$g = 1$ نحصل على الشكل ألمثلثي.

$g = 2$ نحصل على شكل القطع المكافئ.

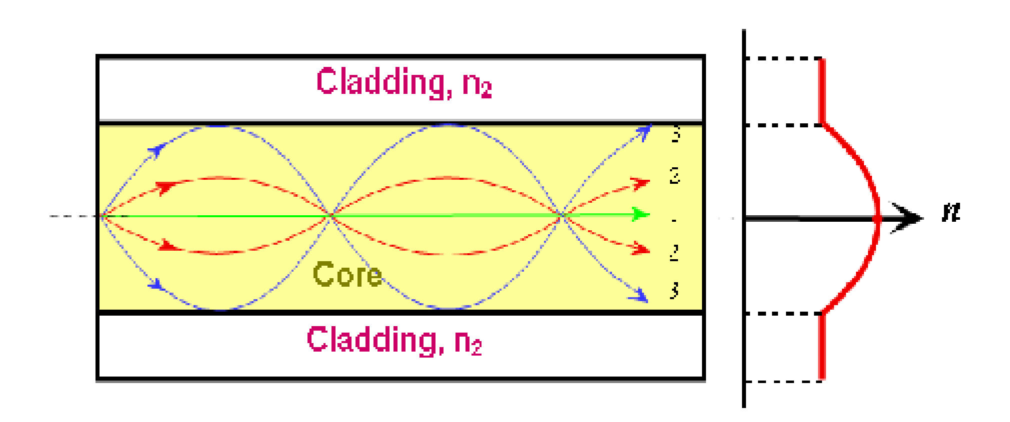
$g = \infty$ نحصل على شكل الليف العتبي.

يمكننا حساب عدد الأنماط المنتشرة (M_g) خلال الليف التدريجي بالعلاقة التالية:

$$M_g = \left(\frac{g}{g+2}\right)\left(\frac{V^2}{2}\right) \qquad (2.13)$$

حيث يعتمد عدد الأنماط المنتشرة على معامل الدالة (g)، والقيمة العددية(V).

هندسياً تنتشر الحزم الضوئية أو الأشعة ضمن منطقة لب الليف البصري وتكون مساراتها على شكل خطوط منحنية وليست مستقيمة (الشكل ٢ - ١٢)، والسبب في ذلك أن معامل الانكسار لمنطقة الانتشار (لب الليف) ذو قيمة متغيرة، بالتالي وبالرجوع للعلاقة (٢ - ١) فإن حاصل القسمة والذي يمثل السرعة ليس ثابتاً حيث تكون السرعة أعلى ما يمكن عندما يكون (n) أصغر ما يمكن (منطقة أطراف اللب) والسرعة أقل ما يمكن عندما تكون (n) أكبر ما يمكن (منطقة مركز اللب).



الشكل (٢- ١٢) انتشار الحزم الضوئية عبر الليف البصري التدريجي ذي شكل القطع المكافئ

إن هذا الاختلاف في السرعة هو السبب الرئيس الذي يعطي الألياف البصرية ذات معامل الانكسار التدريجي الميزة الإيجابية الهامة مقارنة مع الألياف العتبية.

٢- ٦- ٣ الليف أحادي النمط Single Mode Fiber

في حالة الليف أحادي النمط، هنالك نمط واحد من الانتشار (Single Mode) وهو HE_{11} (هندسياً هنالك شعاع واحد فقط) وهو أول نمط يبدأ بالظهور والانتشار عبر الليف البصري وبالتالي يسمى النمط الأساسي (Fundamental Mode) أو الأول، ولا يمكن الحصول على انتشار نمط واحد فقط إلا إذا كانت قيمة التردد المعياري (V) صغيرة للغاية عادة ما تسمى القيمة الحدّية والتي تضمن ظهور نمط واحد فقط بقيمة القطع (Cutoff V-Number) وسوف نرمز لها (V_c)،أي يجب أن يتحقق الشرط ($V \le V_c$) لانتشار نمط واحد فقط. ويمكننا تحقيق هذا الشرط بإحدى الطرق التالية والمستنتجه من العلاقة (2.10):-

- الطريقة الأولى عن طريق تصغير نصف قطر لب الليف (a).
- الطريقة الثانية عن طريق تصغير الفرق النسبي لمعامل الانكسار (Δ).
- الطريقة الثالثة عن طريق زيادة قيمة الطول الموجي المستخدم (λ).

وقيمة (V_c) تختلف باختلاف نوع الليف (عتبى أم تدريجي) كالتالي:

- في حالةالليف أحادي النمط العتبي :-

$$V_c = 2.405 \qquad (2.14)$$

- أما في حالة الليف التدريجي:-

$$V_c = 2.405\sqrt{1+\frac{2}{g}} \qquad (2.15)$$

- **نصف قطر لب الليف الأقصى** "a_{max}"

نصف قطر لب الليف الأقصى (a_{max}) هو نصف قطر اللب الذي عنده التردد المعياري يساوي القيمة الحدية، من العلاقة (٢,١٠) يمكن الحصول على نصف قطر لب الليف الأقصى (a_{max}) بالشكل التالي:

$$a_{max} = \frac{\lambda V_C}{2\pi n_1 \sqrt{2\Delta}} \qquad (2.16)$$

ويمكننا استنتاج أنه إذا كان نصف قطر لب الليف البصري أقل من أو يساوي نصف قطر لب الليف الأقصى (a_{max}) فإنه سوف ينتشر نمط واحد فقط عبر الليف البصري.

ونحصل علي قيمة (a_{max}) لليف العتبي والتدريجي بالتعويض عن (V_c) كالتالي

- في حالةالليف أحادي النمط العتبي من العلاقة (٢,١٤):

$$a_{max} = \frac{2.405\ \lambda}{2\pi\, n_1 \sqrt{2\Delta}} \qquad (2.17)$$

- أما في حالة الليف التدريجي من العلاقة (٢,١٥):

$$a_{max} = \frac{\left(2.405\sqrt{1+\frac{2}{g}}\right)\times\lambda}{2\pi\, n_1 \sqrt{2\Delta}} \qquad (2.18)$$

- **طول الموجة القاطع** Cutoff Wavelength "λ_c"

طول الموجة القاطع (λ_c) هو الطول الموجي الذي عنده التردد المعياري يساوي القيمة الحدية، من العلاقة (٢,١٠) يمكن الحصول طول الموجة القاطع بالشكل التالي:

$$\lambda_c = \frac{2\pi a\, n_1}{V_C}\sqrt{2\Delta} \qquad (2.19)$$

ونحصل علي قيمة (λ_c) لليف العتبي والتدريجي بالتعويض عن (V_c) كالتالي

- حالة الليف أحادي النمط العتبي من العلاقة (٢,١٤):

$$\lambda_c = \frac{V\ \lambda}{2.405} \qquad (2.20)$$

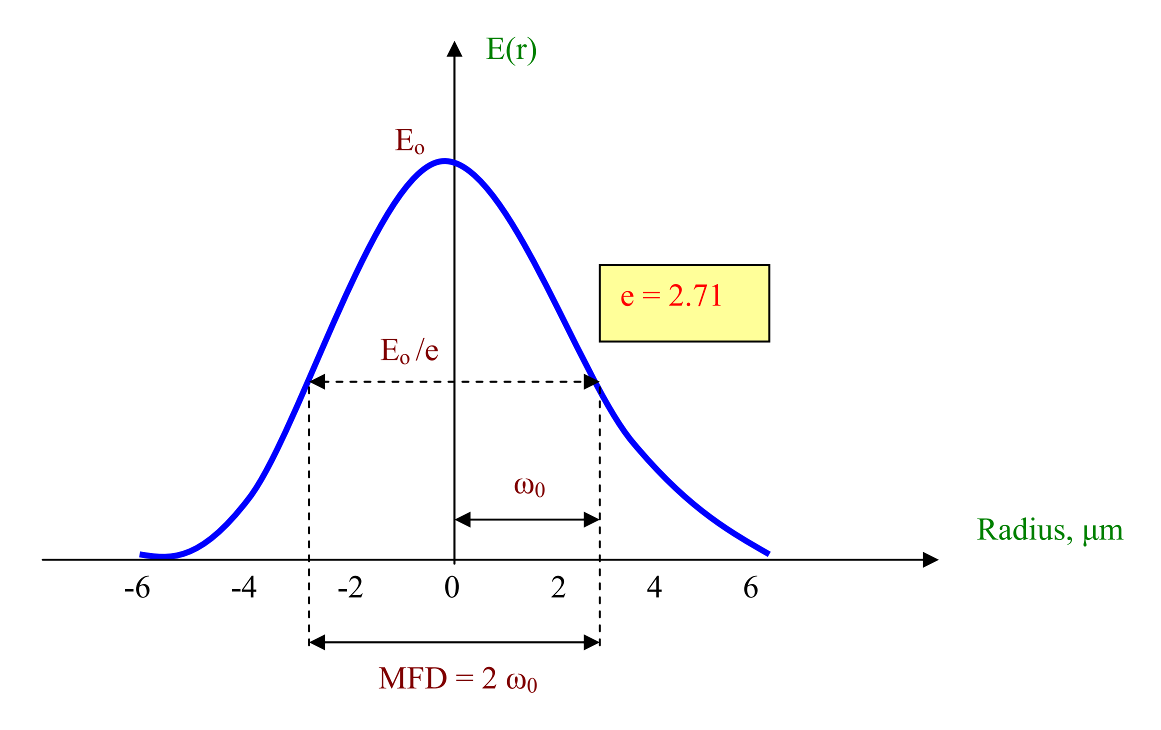
- حالة الليف أحادي النمط التدريجي من العلاقة (٢,١٥):

$$\lambda_c = \frac{V\ \lambda}{2.405\sqrt{1+\frac{2}{g}}} \qquad (2.21)$$

ويمكننا استنتاج انه إذا كان الطول الموجي الذي يعمل عليه الليف البصري أعلى من قيمة طول الموجة القاطع (λ_c) فإنه سوف ينتشر نمط واحد فقط عبر الليف البصري.

أ- **قطر مجال النمط** Mode Field Diameter (MFD)

نظراً لصغر قطر لب الليف الأحادي النمط فإنه لا يمكن للمجال الكهرومغناطيسي للنمط أن ينتشر كلياً ضمن منطقة لب الليف، وبذلك فإن جزءً منه سوف ينتشر في منطقة محيط اللب. لذلك غالباً ما تعطى قيمة تعبّر عن قطر المجال للنمط الوحيد المنتشر وتسمى قطر مجال النمط (Mode Field Diameter) ويرمز لها (MFD). عادة، فإن أفضل توزيع يعبر عن انتشار المجال عبر الليف أحادي النمط هو توزيع جاوس (Gaussian Distribution) كما هو موضح في الشكل (٢-١٣):حيث إن (ω_o) ترمز إلى نصف قطر مجال النمط (Mode Field Radius) وتسمى أحياناً مقاس البقعة المضيئة (Spot Size).



الشكل (٢-١٣) توزيع المجال E(r) للنمط الرئيسي المنتشر في الليف أحادي النمط

في المواصفات العملية لليف البصري، عادة ما يعطى قطر اللب لليف متعدد الأنماط، بينما يعطى قطر مجال النمط لليف الأحادي النمط، وعادة ما يكون أكبر بقليل من قطر لب الليف. كمثال على ذلك، لو كان قطر اللب لليف البصري الأحادي (10 µm) فإن قطر المجال للنمط حوالي (12 µm).

٢- ٦- ٤ الليف البلاستيكي (POF) Plastic Optical Fiber

تتميز الألياف البصرية البلاستيكية والتي سنرمز لها اختصاراً (POF) بأنها مصنوعة بالكامل من البلاستيك مما يجعلها رخيصة جداً، حيث تصنّع الآن على شكل ألياف عتبية متعددة الأنماط وتعمل على الطول الموجي (650 nm).

مميزات الليف البلاستيكي:

- سعرها منخفض.
- الحجم الكبير نسبياً (بقطر حوالي 1000 µm) مما يجعلها سهلة في الاستخدام.
- فتحة النفوذ العددية (NA) عالية (حوالي 0.5).
- البساطة والمرونة العالية في التطبيق.

عيوب الليف البلاستيكي:

- التوهين (Attenuation) العالي جداً (أكبر من 200 dB/km).
- عرض النطاق الترددي (Bandwidth) القليل (حوالي 5 MHz.km).

يقتصر استخدام الألياف البلاستيكية على المسافات القصيرة جداً (داخل المكاتب والمعامل)، وكذلك أصبحت تستخدم كبديل للكيبلات الكهربائية في السيارات.

سوف نقدم الآن مجموعة من الأمثلة المحلولة لتغطية المواضيع الأساسية التي قمنا بدراستها.

مثال ٢- ١ :-

(أ) لديك ليف بصري زجاجي له معامل انكسار اللب يساوي (1.48) ومعامل انكسار الغشاء يساوي (1.46). تحت أي شرط ينتشر الضوء عبر هذا الليف بشكل صحيح.

(ب) أوجد نفس الشرط في حالة استخدام ليف بلاستيكي له $n_1 = 1.495$ و $n_2 = 1.404$.

الحل

(أ) كما ذكرنا سابقاً فإن هذا الشرط هو الانعكاس الكلي الداخلي ، وحتى يحصل ذلك لا بُد من ضمان أن يسقط الشعاع الضوئي على الحد الفاصل بين اللب والغشاء بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة (Φ_c). لذلك لا بُد من حساب (Φ_c) لمعرفتها بالتحديد

$$\Phi i > \Phi_c \qquad \theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1.46}{1.48}\right) = \sin^{-1}(0.986) =$$

$$\theta_c = 80.57^o.$$

(ب) نفس الحسابات نعيدها لليف البلاستيكي

$$\Phi_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1.404}{1.495}\right) = \sin^{-1}(0.938) = 69.68^o.$$

يمكننا في الحالتين إيجاد زاوية دخول الضوء لليف البصري والتي يجب أن تكون أصغر من أو تساوي زاوية القبول (θ_a).

مثال ٢- ٢ :-

لديك ليف بصري زجاجي متعدد الأنماط له $n_1 = 1.5$ و $n_2 = 1.47$. أوجد :

(أ) الزاوية الحرجة (Φ_c) في منطقة الحد الفاصل بين اللب والغشاء

(ب) فتحة النفوذ العددية لليف

(ت) زاوية القبول (θ_a)، علماً بأن الضوء يدخل لليف عبر الهواء

(ث) الفرق النسبي (Δ) بين n_1 و n_2

الحل:

(أ)

$$\Phi_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1.47}{1.5}\right) = 78.5^o.$$

(ب)

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1.5^2 - 1.47^2} = 0.3$$

(ت)

$$\theta_a = \sin^{-1}(NA) = \sin^{-1}(0.3) = 17.4^o.$$

(ث)

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} = \frac{1.5^2 - 1.47^2}{2 \times 1.5^2} = 0.02$$

مثال ٢- ٣ :-

لديك ليف بصري عتبي متعدد الأنماط يعمل على الطول الموجي (850 nm) ومعامل انكسار اللب يساوي 1.48 و $\Delta = 1.5\ \%$. ونصف قطر اللب 40μm أوجد:

(أ) التردد المعياري (V - Number) لليف.

(ب) عدد الأنماط المنتشرة عبر الليف.

الحل

(أ) للحصول على التردد المعياري لليف نستخدم العلاقة

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a n_1 \sqrt{2\Delta}$$

$$V = \frac{2\pi \times 40 \times 10^{-6} \times 1.48}{0.85 \times 10^{-6}} \sqrt{2 \times 0.015}$$

$$V = 75.8$$

(ب) للحصول على عدد الأنماط المنتشرة عبر هذا الليف، نستخدم العلاقة:

$$M_s = \frac{V^2}{2} = \frac{5745.6}{2} = 2873$$

مثال ٢- ٤ :-

لديك ليف بصري عتبي بالمعطيات التالية:

$$\Delta = 1.5\ \%, \quad n_1 = 1.48, \quad \lambda = 850\ \text{nm}$$

أوجد:

(أ) أقصى قيمة مسموح بها لقطر لب الليف حتى يعمل هذا الليف كأحادي النمط

(ب) اعتبر أنه تم استبدال هذا الليف بآخر من النوع التدريجي ذي شكل القطع المكافئ حيث يعمل على الطول الموجي (1.3 µm) ولديه ($n_1 = 1.5, \ \Delta = 1\%$). أوجد أقصى نصف قطر للب ليف يسمح به حتى يعمل هذا الليف كأحادي النمط.

(ت) طول الموجة القاطع (λ_c) لليف بصري عتبي حتى يعمل كأحادي النمط علماً بأن

$$\Delta = 0.25\ \% \quad ، a = 4.5\ \mu m \ ، n_1 = 1.46$$

الحل

(أ) أقصى نصف قطر لب الليف ذي معامل الانكسار العتبي حتى يعمل كأحادي النمط هي

$$a_{max} = \frac{V_c \lambda}{2\pi n_1 \sqrt{2\Delta}} = \frac{2.405 \times 845 \times 10^{-9}}{2\pi \times 1.48\sqrt{0.03}} = 1.3\mu m$$

من هنا، فإن قطر اللب يساوي $2 \times a_{max}$، وبعد التعويض:

$$= 2 \text{ x } 1.3 = 2.6\ \mu m$$

(ب) لأن الليف قد تغير إلى النوع ذي معامل الانكسار التدريجي، فسوف نستخدم العلاقة

$$(\ g = 2\ )\ V_c = 2.405\sqrt{1 + \frac{2}{g}} = 2.405\sqrt{2} = 3.4$$

$$a_{max} = \frac{3.4 \times 1.3 \times 10^{-6}}{2\pi \times 1.5\sqrt{0.02}} = 3.3\mu m$$

(ت) حتى يعمل هذا الليف كأحادي النمط، يجب أن يكون الطول الموجي المستخدم أعلى من قيمة الطول الموجي القاطع (λ_c) والذي يحسب تبعاً للعلاقة :

$$\lambda_c = \frac{2\pi a\, n_1 \sqrt{2\Delta}}{2.405} = \frac{2 \times 3.14 \times 4.5\,\mu m \times 1.46\sqrt{2 \times 0.0025}}{2.405}$$

$$= 1.214\ \mu m = 1214\ nm.$$

٢- ٧ المواصفات العملية للألياف البصرية Practical Characteristics Of Optical Fiber

عادة ما تقسّم الألياف البصرية إلى مجموعات وذلك حسب قطر لب الليف (انظر الجدول ٢- ٣)، كذلك يغطي الليف طبقة أولية من البلاستيك تسمى الغلاف (Coating) وفي الكثير من الحالات هنالك طبقة أخرى إضافية من مواد بلاستيكية تسمى الطبقة الواقية (Buffer)، وقد يستعاض عنها بأنبوب بلاستيكي مفرغ (Tube) توضع الألياف داخله وتكون وظيفته حماية الألياف من أي تأثيرات خارجية. نقدم في الجدول أدناه المجموعات الخمسة الأساسية والمقاسات المقابلة لها.

جدول (٢- ٣) المجموعات الأساسية للألياف البصرية والمقاسات المقابلة لها

Group Number	Core Diameter [μm]	Cladding Diameter [μm]	Coating Diameter [μm]	Buffer or tube Diameter [μm]
I	8 to 10	125	250 or 500	900 or 2000 -3000
II	50	125	250 or 500	900 or 2000 -3000
III	62.5	125	250 or 500	900 or 2000 -3000
IV	85	125	250 or 500	900 or 2000 -3000
V	100	140	250 or 500	900 or 2000 -3000



وسوف نقدم الآن المواصفات والخصائص الأساسية لهذه المجموعات، وللفائدة نقدمها باللغة الإنجليزية:

I. Core: 8 to 10 / 125

Single – mode fiber with:

NA: smallest (< 0.1)

Loss: lowest (≈ 0.2 dB / km) at λ = 1550 nm

BW: highest, tens GHz × km.

Wavelength: 1310 or 1550 nm

2 km ≈Cable length:

II. Core: 50 / 125

Multimode fiber with:

NA: smaller (≈ 0.2)

Loss : lower (≈ 3 to 4 dB / km)

BW: higher (few GHz × km)

Wavelength : 850 or 1310 nm

Cable length: (~ 0.2 to 0.3 km)

III. Core: 62.5 / 125

Multimode fiber with:

NA : medium (≈ 0. 3)

Loss : low (≈ 4 dB / km)

BW: medium (hundred MHz × km)

Wavelength: 850 or 1310 nm

Cable length: ≈ 1.5 km



IV. Core: 85 / 125 { European Fiber Size }

Multimode fiber with:

NA: large (≈ 0.3)

Loss : high (≈ 5 dB / km)

BW: low (tens MHz × km)

Wavelength: 850 or 1310 nm

Cable length : (≈ 1.5 km)

V. Core: 100 / 140

Multimode fiber with:

NA: largest (≈ 0.4)

Loss: higher (≈ 5 dB / km)

BW: lowest (≈ MHz × km)

Wave length: 850 or 1310 nm

Cable length: (1. 5 or 1. 8 km)



وفي النهاية، سوف نقدم مثالاً على مواصفات ليف بصري معين في الجدول أدناه:

جدول (٢- ٤) مثال عملي لمواصفات ليف بصري

Specifications المواصفات	value القيمة	Explanation التوضيح
Core diameter	62.5 µm	Multi mode fiber
Cladding diameter	125 µm	Doesn't included Coating
Coating diameter	250 µm	Plastic-colored coating
Mode-field diameter	-----	This value is used only for single mode fibers
Attenuation:		
at λ = 850 nm	3.5 dB / km	Maximum loss
at λ = 1310 nm	1 dB/ km	
Fiber-optic bandwidth:		
At λ = 850 nm	160 MHZ × km	
At λ = 1310 nm	500 MHZ × km	
Chromatic dispersion	0.1 nS / nm × km	
Cutoff wavelength	-------------------	For single mode fibers only
Fiber manufactures	company name	

تدريبات على الوحدة الثانية

تمرين ١: أوجد سرعة الضوء في الأوساط التالية:

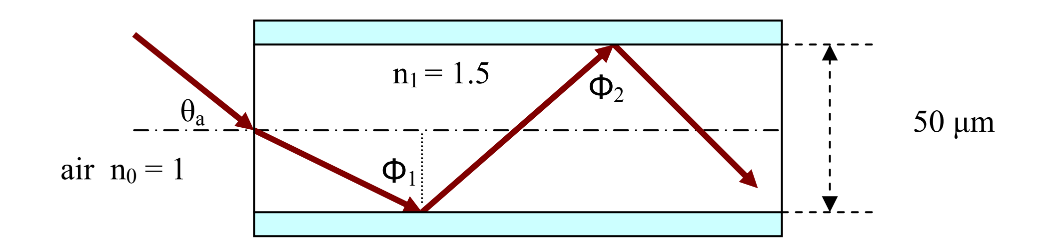
- السيليكا ($n = 1.5$)
- الماء ($n = 1.33$)
- كلوريد الصوديوم ($n = 1.54$)
- الجرمانيوم ($n = 4$)

تمرين ٢:(أ) احسب الزمن اللازم لوصول الضوء إلى نهاية ليف بصري مصنوع من الزجاج ($n = 1.5$) وبطول يصل إلى 2 km.

(ب) احسب الزمن اللازم لوصول الضوء إلى نهاية ليف بصري بلاستيكي ($n = 3$) وبطول يصل إلى 20m

تمرين ٣: احسب المسافة عن الأرض التي يقع عليها قمر اصطناعي إذا علمت أن الزمن الذي قطعه الضوء ذهاباً وإياباً إليه يساوي (1μs).

تمرين ٤: أوجد قيم الزوايا (Φ_1 , Φ_2 , Φ_c , θa) لليف متعدد النمط من النوع العتبي حسب الشكل المبين أدناه إذا علمت أن ($n_2 = 1.48$, $\Delta = 0.01$ ، $\lambda = 1310$).



تمرين ٥: لديك ليف بصري بالمواصفات التالية:

$\theta a = 30^o$ $\lambda = 1300$ nm; $n_2 = 1.47$; قطر اللب يساوي 62.5 μm

(أ) اذكر نوع الليف بناء على المعطيات السابقة

(ب) أوجد التردد المعياري (V-number)

(ت) أوجد عدد الأنماط التي ستنتشر عبر هذا الليف

تمرين ٦: اعتبر أنه تم استبدال الليف السابق (تمرين٥) إلى النوع ذي معامل الانكسار التدريجي ($g = 2$) وأن عدد الأنماط المنتشرة يساوي (100). أوجد نصف قطر لب هذا الليف إذا علمت أن

$\Delta = 1\ \%,\quad \lambda = 1550\ nm,\quad n1 = 1.5$.

تمرين ٧: لديك ليف بصري متعدد النمط من النوع العتبي وله المعطيات التالية:

قطر اللب يساوي $62\ \mu m$; $n_2 = 1.47$; $n_1 = 1.5$; $\lambda = 1310\ nm$

أوجد: (أ) فتحة النفوذ العددية (NA).

(ب) قيمة أقصى نصف قطر اللب المسموح بها حتى يتحول هذا الليف إلى أحادي النمط.

تمرين ٨: لديك ليف بصري أحادي النمط من النوع التدريجي وله المعطيات التالية:

قطر اللب يساوي $22.66\ \mu m$; $\Delta = 0.1\ \%$; $n_1 = 1.5$; $\lambda = 1300\ nm$.

أوجد قيمة **g** التي تحدد شكل معامل الانكسار.

تمرين ٩: أوجد قيمة نصف قطر اللب المسموح بها حتى يتحول الليف في تمرين٧ إلى أحادي النمط من النوع التدريجي ذي الشكل المثلثي ($g = 1$).

تمرين ١٠: أوجد طول الموجة القاطعة (λ_c) لليف أحادي النمط من النوع التدريجي ذي قطع مكافئ ($g = 2$) إذا علمت أن قطر اللب يساوي ($8\ \mu m$)، ($n_1 = 1.5$)، ($\Delta = 0.1\ \%$).

تمرين ١١: أوجد فتحة النفوذ العددية لمقطع ليف عتبي ذي القيم التالية:

$n_1 = 1.48;\quad n_2 = 1.46;\quad a = 25\ \mu m$

تمرين١٢: أجب عن الاسئلة التالية

أ- ما النظريات المستخدمة لتفسير الضوء؟

ب- ما الفرق بين الانعكاس والانكسار؟

جـ - وضّح المقصود بأنماط الانتشار؟

د- قارن بين الليف العتبي و الليف التدريجي ؟

هـ- ما وظيفة كل من اللب والغشاء في الليف البصري؟

خصائص الإرسال عبر الألياف البصرية

خصائص الإرسال عبر الألياف البصرية

3

الوحدة الثالثة : خصائص الإرسال عبر الألياف البصرية

الجدارة: القدرة على التعرف على خصائص ومشاكل الإرسال عبر الألياف البصرية وطرق حسابها...

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المتدرب القدرة على أن:

- يدرس مشكلة التوهين وكيفية حسابها.
- يتعامل مع وحدة الديسبل وتطبيقاتها.
- يدرس مشكلة التشتيت وأنواعها.
- يعرف كيفية احتساب عرض النطاق لليف وسرعة الإرسال.

مستوى الاداء المطلوب: أن يصل المتدرب على اتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ٦ ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج "Power Point" لعرض محاضرات خصائص الإرسال عبر الألياف البصرية.

متطلبات الجدارة:- أن يكون المتدرب ملماً بمحتوى الوحدة الثانية.

خصائص الإرسال عبر الألياف البصرية

Transmission Characteristics of Optical Fibers

مقدمة

من خصائص الإرسال عبر الألياف البصرية تضمنها العوامل التي تؤثر على أداء أنظمة الاتصالات البصرية والتي سوف تؤثر سلباً على تحديد سرعة نقل المعلومات وبالتالي سعة النظام ككل و تحديد مسافة الإرسال. سوف نركز في هذه الوحدة على عاملين مهمين: الأول هو التوهين (Attenuation) والثاني هو التشتيت (Dispersion).

٣- ١ التوهين Attenuation

يعتبر التوهين مشكلة أساسية في أنظمة الاتصالات على اختلاف أشكالها، وفي حالة استخدام الألياف البصرية فإن التوهين وما يصاحبه من فقد (Loss) للقدرة البصرية (Optical Power) يعتبر من العناصر الأساسية في التصميم والذي يؤدي بدوره إلى تحديد (تقليل) مسافة الإرسال بين محطات التقوية وإعادة البث (المعيدات Repeaters). يحدث الفقد في مواقع مختلفة على الخط: المدخل (Input) والمخرج (Output) ومواقع الربط (Connecting points) وكذلك داخل الليف نفسه و سوف يكون تركيزنا في هذه الوحدة على دراسة الفقد داخل الليف: أسبابه وكيفية احتسابه.

يمكننا تعريف التوهين لليف البصري بأنه قياس الفاقد في القدرة البصرية بين المدخل والمخرج، ويرمز له بالرمز (α). عملياً تستخدم الوحدات اللوغارتمية لإيجاد التوهين لليف البصري من العلاقة التالية:

$$\alpha_{dB} = 10\, Log\ [\ P_{in}\ /\ P_{out}\ ] \qquad (3.1)$$

حيث إن: - α_{dB} ترمز الى التوهين بوحدة الديسبل.

- P_{in} ترمز إلى القدرة البصرية على مدخل الليف.
- P_{out} ترمز إلى القدرة البصرية على مخرج الليف.



شكل (٣- ١) القدرة على مدخل ومخرج الليف البصري

في أنظمة الاتصالات البصرية عادة ما يتم احتساب التوهين للكيلومتر الواحد من طول الخط وفقاً للعلاقة التالية:

$$\alpha_{\,(dB/km)} = \frac{1}{L}\left[10\,Log\frac{P_{in}}{P_{out}}\right] \qquad (3.2)$$

حيث - L ترمز إلى طول الليف بالكيلومتر (km).

قبل أن نبدأ بدراسة أسباب التوهين نتعرف على استخدام وحدة الديسبل (dB) وتطبيقاتها في نظم الاتصالات.

٣- ١- ١ وحدة الديسبل Decibel Unit "dB"

غالباً ما نستخدم في أنظمة الاتصالات المختلفة وحدة الديسبل و يرمز لها اختصاراً (dB) والتي تستخدم في حالتين:

- **الحالة الأولى:**

للتعبير عن العلاقة بين قيمتين وإيجاد نسبة بعضهما إلى بعض (مثل القدرة على مدخل الخط مقارنة مع القدرة على مخرج الخط أو الإشارة على مدخل مكبّر الإشارة نسبة إلى قيمتها على المخرج). وبذلك فإن وحدة الديسبل تستخدم هنا للتعبير عن التوهين كما هو الحال في خطوط النقل أو عن التكبير كما هو الحال في المكبّرات (Amplifiers). فلو فرضنا أن لدينا القيمة العددية التالية (x / y) حيث(x)و(y) لهما قيم القدرة:

$$x / y = 100$$

$$10\,Log\;x / y = 10\,Log\,100 = 20\,dB$$

إذا كان (x)و (y) لهما قيم التيار أو الجهد فيجب ضرب اللوغاريتم بالقيمة (20) بدلاً من (10).

وبنفس الطريقة السابقة يمكننا ملء الجدول (٣- ١):

جدول (٣- ١) التحويل إلى الديسبل

x / y	10 Log (x / y), dB
2	3
10	10
1000	30
0.01	-20
0.0001	-40
0.5	-3
40	16.02
250	23.98
107	70
10-3	-30

- **الحالة الثانية:**

تستخدم وحدة الديسبل للتعبير عن مستوى القدرة (Power Level) في أي مكان عبر خط النقل حيث أصبحت أجهزة قياس القدرة (Power Meters) تعطينا القراءات بالديسبل، لكن في هذه الحالة يلزمنا قيمة مرجعية (Reference Value) للقسمة عليها.

- إذا كانت القيمة المرجعية تساوي (1 Watt) فإن الوحدة في هذه الحالة تكون (dBw)

$$P_{dBw} = 10 \text{ Log } [\text{ power}/ 1W] \quad \text{dBw}$$

- إذا كانت القيمة المرجعية تساوي (1milliwatt) فإن الوحدة في هذه الحالة تكون (dBm)

$$P_{dBm} = 10 \text{ Log } [\text{ power}/ 1\text{mW }] \quad \text{dBm}$$

- إذا كانت القيمة المرجعية تساوي (1 microwatt) فإن الوحدة في هذه الحالة تكون (dBμ)

$$P_{dB\mu} = 10 \text{ Log } [\text{ power}/ 1\mu\text{W }] \quad \text{dB}\mu$$

كتطبيق على ذلك نقدم المثال التالي بالجدول (٣- ٢)

جدول (٣- ٢) تحويل قيم القدرة إلى مستواها بالديسبل

Power	Power Level
1 W	0 dBw
100 W	20 dBw
10 mW	- 20 dBw
1mW	0 dBm
0.5 mW	- 3dBm
1 W	30 dBm
0.1 mW	-10 dBm
2 mW	3 dBm
1 μW	0 dBμ
1 mW	30 dBμ
1 W	60 dBμ
0.8 mW	- 0.97 dBw
0.2 mW	- 7 dBm
20 μW	13 dBμ
400 μW	-4 dBm

مثال (٣- ١):-

لديك خط اتصال بصري بطول (8 km) إذا علمت أن قيمة القدرة على مدخل الخط (120 μW) والقدرة على المخرج تساوي (3 μW). أوجد:

(أ) التوهين الكلي للخط.

(ب) التوهين للكيلومتر الواحد.

(ت) التوهين لخط طوله (10 km) علماً بأنه من نفس نوع الليف السابق ويتم استخدام اللحام للتوصيل كل (1 km) والفقد في كل نقطة لحام يساوي (1 dB).

(ث) أوجد القيمة العددية للعلاقة بين قيمة القدرة على المدخل وقيمتها على المخرج.

الحل

(أ) لحساب التوهين الكلي نستخدم العلاقة (٣- ١):

$$\alpha_{dB} = 10 \log P_{in} / P_{out}$$

$$= 10 \text{ Log } 120\ \mu w \ / \ 3\ \mu w$$

$$= 10 \log 40 = 16 dB$$

(ب) التوهين للكيلومتر الواحد= التوهين الكلي مقسوما على طول الخط بالكيلومتر

$$=16 \text{ dB} / 8 \text{ km} = 2 \text{ dB/km}$$

(ت) التوهين الكامل للخط بطول (10 km) وبمعامل توهين (2 dB/km) يساوي التوهين للكيلومتر الواحد مضروبا في طول الخط بالكيلومتر:

$$=2 \times 10 = 20 \text{ dB}$$

يضاف إلى هذا الرقم الفقد الناتج عن مجموع نقاط اللحام حيث إن:

عدد نقاط اللحام = (الطول الكلي للخط)\(المسافة بين نقاط اللحام)- ١

وبعد التعويض ينتج أن عدد نقاط اللحام تساوي (9) نقاط.

التوهين بسبب اللحام يساوي عدد النقاط ضرب الفقد للنقطة الواحدة = 9 dB

التوهين الكلي يساوي= توهين الخط + التوهين الناتج عن اللحام

$$=20 \text{ dB} + 9 \text{ dB} = 29 \text{ dB}$$

(ث) القيمة العددية للعلاقة بين القدرة على مدخل ومخرج الخط

$$P_{in} / P_{out} = 10^{0.1*29} = 10^{2.9} = 794.3$$

٣- ١- ٢ أسباب التوهين

هنالك العديد من الأسباب المسؤولة عن حدوث التوهين في الألياف البصرية والتي تعتمد في الغالب على بنية الزجاج وتصنيعه وتركيبة الليف. ومن هذه الاسباب:

أ- امتصاص الضوء Light Absorption

كما هو معروف فإن غالبية الألياف البصرية تصنّع من مادة السيليكا (Silica) (ثاني أكسيد السيليكون SiO_2) وهي المادة التي يصنع منها الزجاج حيث تتم إضافة مواد معينة (مثل الجرمانيوم) وبنسب معينة إلى الزجاج للحصول على معاملات انكسار مختلفة. عادة ما يمتص الزجاج الضوء الساقط عليه وتسمى هذه العملية الامتصاص الضمني أو الداخلي (Intrinsic Absorption) وبالتالي يتسبب في زيادة الفقد على أطوال موجية معينة ويظهر ذلك على شكل انبعاث حراري (Heat) حيث نجد أن أعلى مستويات الامتصاص على الأمواج فوق البنفسجية وتحت الحمراء، ولحسن الحظ فإن قيمة الامتصاص في منطقة الأمواج غير المرئية (بين 800 nm و 1600 nm) التي تعمل عليها الألياف البصرية قليلة جداً.

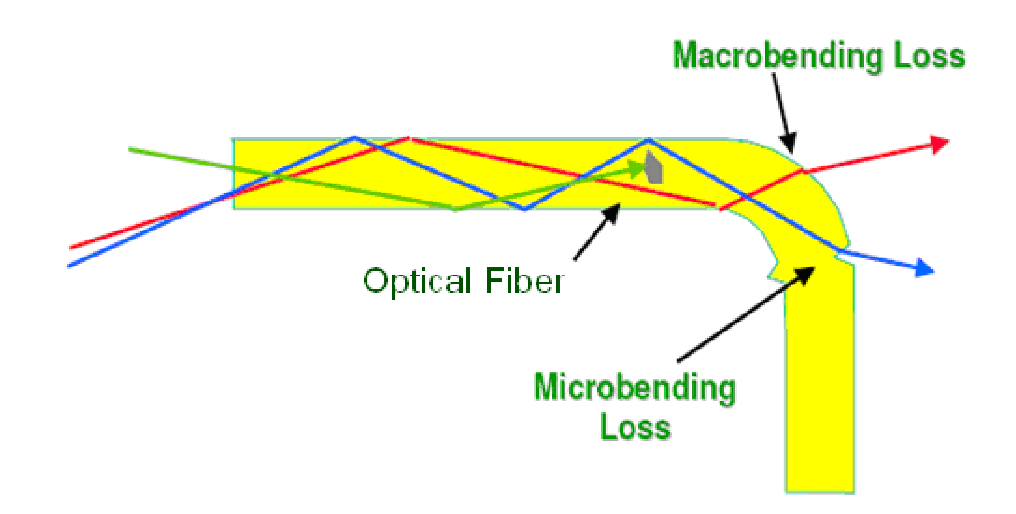
علاوة على ما سبق، تتواجد الشوائب (مثل أيونات الهيدروكسيل OH ions) في مادة السيليكا والتي تمتص الضوء عند أطوال الموجات التي تعمل عليها الألياف البصرية مما يؤدي إلى زيادة الفقد. لهذا السبب يجب أن يكون الزجاج عالي النقاوة وشبه خالٍ من الشوائب، كذلك فإن وصول الماء أو الرطوبة إلى الألياف يؤدي إلى زيادة امتصاص هذه الأيونات للضوء وبالتالي زيادة الفقد.

ب- التناثر Scattering

عندما يمر الضوء عبر الزجاج فإن جزءً من طاقته تتناثر ويعود ذلك إلى تركيبة الزجاج حيث تصبح كثافة الزجاج غير متجانسة بعد عملية التصنيع مما يؤدي إلى عدم ثبات قيمة معامل الانكسار وهذا هو السبب في تناثر الضوء الذي يكون عادة عشوائياً. يسمى هذا التناثر بتناثر رالي (Rayleigh Scattering) ويتناسب بشكل عكسي مع (λ^4)، لذلك فإن تأثيره يزداد على أطوال الموجات الأقصر. هنالك التناثر الناتج عن وجود جسيمات (شوائب) كبيرة الحجم نسبياً مما يؤدي إلى تناثر الضوء عند اصطدامه بها.

جـ- المشاكل الهندسية Geometric Problems

هنالك أكثر من نوع من التأثيرات الهندسية التي تؤثر على خصائص الليف، منها ما ينتج عن الانحناءات الكبيرة (Macrobendings) والثاني ما ينتج عن الانحناءات الدقيقة (Microbendings)، شكل (٣- ٢). عادة ما تحدث الانحناءات الكبيرة عند لف الليف على البكرات أو أثناء التركيب (Installation) ويجب الانتباه إلى قيمة أقل نصف قطر انحناء مسموح به (Minimum Bend radius) والذي يُعطى ضمن مواصفات وخصائص الليف. إن تجاوز انحناء الليف هذه القيمة يؤدي إلى زيادة الفقد وإلى كسر الليف أحياناً.



الشكل (٣- ٢) الانحناءات الكبيرة والصغيرة

تحدث الانحناءات الدقيقة نتيجة أخطاء مصنعية أو ضغوط على الأغلفة التي تحيط بالليف، حيث تؤدي هذه الانحناءات إلى خلل في زوايا سقوط الضوء (بزاوية أقل من الزاوية الحرجة "Φ_c") و إلى التداخل بين الأنماط (Mode Coupling) مما ينتج عنه زيادة في الضوء الفاقد.

٣- ١- ٣ العوامل التي تؤثر في قيمة الفقد

يتضح لنا مما سبق بأن قيمة الضوء الفاقد تعتمد على:

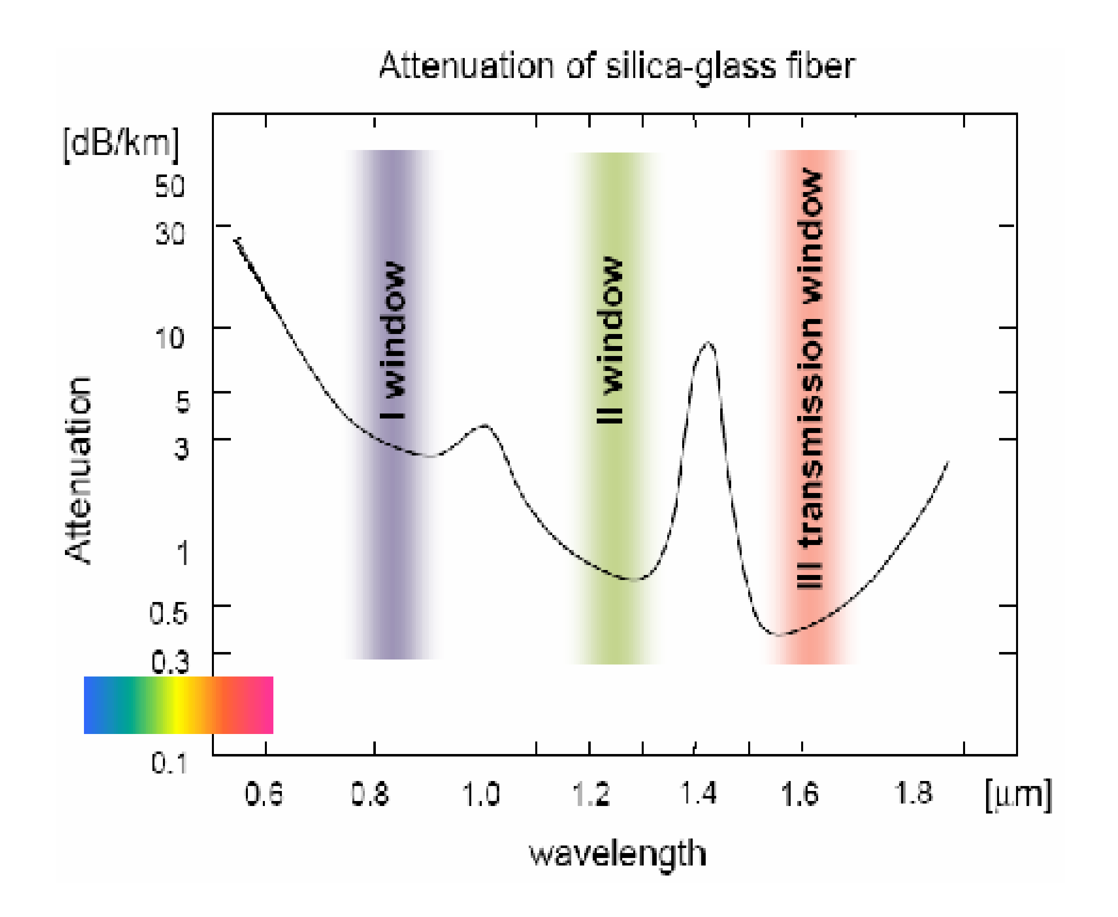
- نوع الليف (أحادي أو متعدد النمط)
- ظروف التشغيل
- طريقة تصنيع الليف
- نوع المادة المصنوع منها الليف (الزجاج أو البلاستيك)
- الطول الموجي الذي يعمل عنده الليف.

كمحصلة نهائية للأسباب السابقة تتغير قيمة التوهين في الليف البصري بالاعتماد على الطول الموجي للضوء المنتشر خلاله. وفقاً للشكل (٣- ٣) نجد أن أقل فقد على الأطوال الموجية التالية:

- $\lambda = 850$ nm والتي تسمى النافذة الأولى (First Window)
- $\lambda = 1300$ nm والتي تسمى النافذة الثانية (Second Window)
- $\lambda = 1550$ nm والتي تسمى النافذة الثالثة (Third Window)

تستخدم النافذة الأولى في المسافات القصيرة وعلى سرعات بث قليلة، بينما تستخدم النافذة الثانية والثالثة في المسافات البعيدة وعلى سرعات البث العالية.

إن أفضل طول موجي من ناحية أقل توهين ممكن هو (1550 nm) (التوهين أقل من 0.2 dB/km).

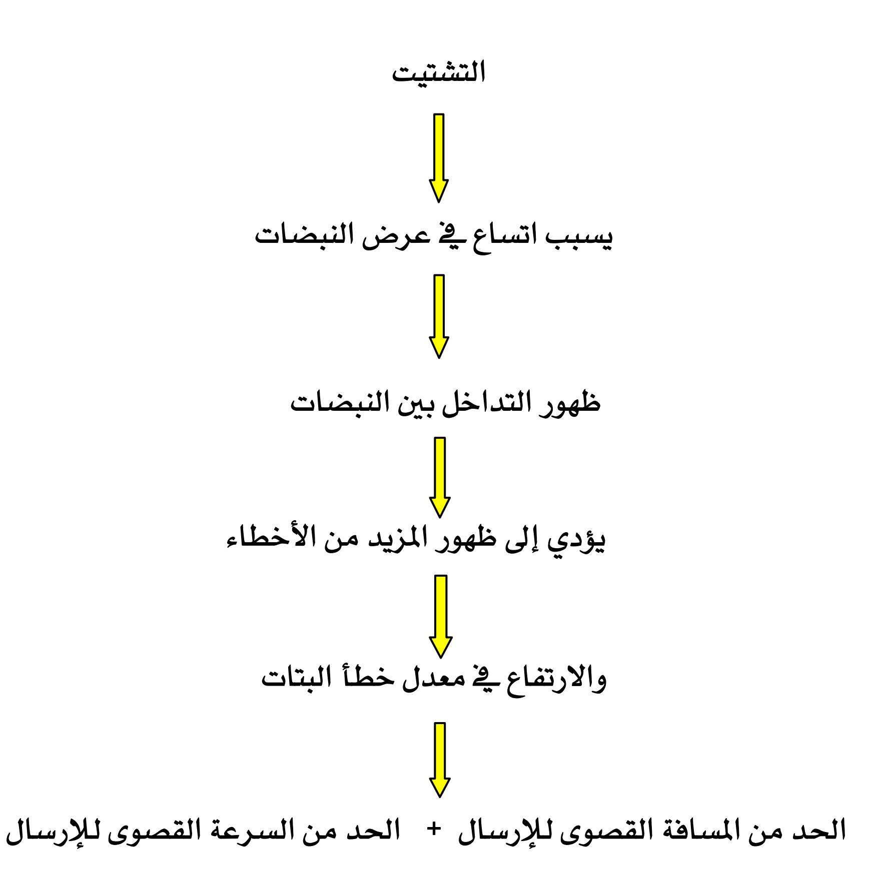


الشكل (٣- ٣) تغير التوهين في الليف البصري مع الطول الموجي

٣- ٢ التشتيت Dispersion

يعتبر التشتيت من المشاكل الرئيسة في أنظمة اتصالات الألياف البصرية، حيث يتسبب التشتيت في تشويه الإشارة (Signal Distortion) سواء في حالة الأنظمة التماثلية (Analog Systems) أو الرقمية (Digital Systems). إن التأثير الأكبر للتشتيت يظهر في حالة الأنظمة الرقمية وذلك على شكل اتساع (Broadening) في عرض النبضات البصرية المرسلة عبر الليف (الشكل ٣- ٤) والذي يزيد بزيادة المسافة المقطوعة. تؤدي هذه الظاهرة السلبية إلى حصول تداخل بين النبضات المرسلة (Intersymbol Interference)، وزيادة هذه الظاهرة يؤدي إلى زيادة ظهور الأخطاء (Errors) والتي تؤدي إلى زيادة معدل خطأ البيانات (Bit Error Rate) ويرمز لها اختصاراً (BER).

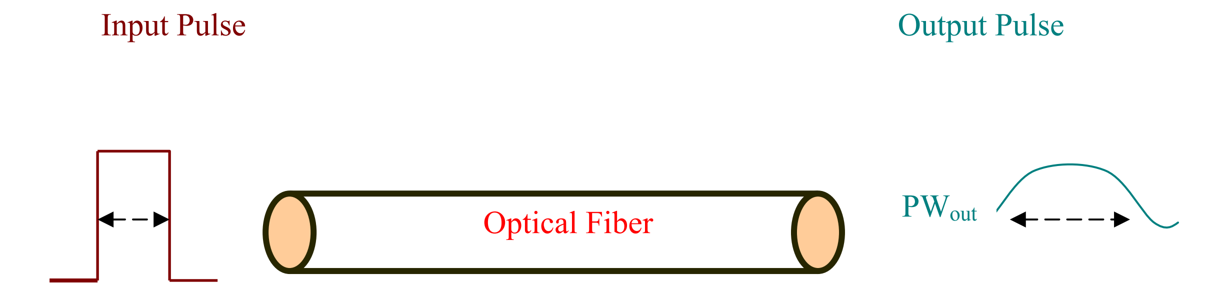
- يمكننا تمثيل تأثير التشتيت على بالتخطيط التالي:



وتأتي أهمية التشتيت بأن قيمته هي التي تحدد أهم عاملين في نظم الاتصالات البصرية وهما:

- سرعة الإرسال القصوى (Maximum Bit Rate)
- مسافة الإرسال القصوى (Maximum Transmission Distance)،

وكما هو واضح من الشكل (٣- ٤) فإن عرض النبضة على المدخل (PW_{in}) قد اتسع بعد



الشكل (٣- ٤) اتساع عرض النبضة الضوئية أثناء انتشارها عبر الليف البصري

مرورها عبر الليف وأصبح (PW_{out}). من هنا يمكننا تعريف التشتيت (Δt) وفقاً للعلاقة التالية:

$$\Delta t = \sqrt{\left(PW_{in}^{2} - PW_{out}^{2}\right)} \qquad (3.3)$$

وتعتمد (Δt) بشكل أساسي على طول الليف حيث يزداد التشتيت مع زيادة الطول ومن هنا فإن التشتيت يعطى في مواصفات الليف بوحدة الزمن لكل كيلومتر [ns/km] أو [ps/km].

و ينقسم التشتيت إلى التشتيت الضمني والتشتيت الباطني والذي بدوره ينقسم الى تشتيت المادة وتشتيت دليل الموجة.

٣- ٢- ١ التشتيت الباطني Intramodal Dispersion

إن هذا النوع من التشتيت والذي يظهر في جميع أنواع الألياف أحادية ومتعددة النمط والذي يسمى أيضاً تشتيت اللون (Chromatic Dispersion)، وسبب هذه التسمية يعود إلى كون الضوء ينبعث من مصادره كحزمة من الأطوال الموجية وليس طول موجي واحد (كما هو معروف من الفيزياء، فإن كل طول موجي مرتبط بلون معين والعكس صحيح، ومن هنا جاءت التسمية التشتيت اللوني (Chromatic) وليس أحادي اللون (Monochromatic). ويتقسم هذا النوع من التشتيت الي نوعين هما:-

أ- تشتيت المادة Material Dispersion

كما أشرنا سابقاً، فإن الضوء ينبعث من المصدر على أطوال موجية مختلفة والتي سوف تنتشر عبر الليف على سرعات مختلفة وذلك حسب طولها الموجي مما يؤدي إلى وصولها نهاية الليف بأوقات مختلفة وهذا هو السبب في حصول تشتت المادة الذي يؤدي إلى اتساع عرض النبضة وبالتالي تشويهها. للتقليل من هذه الظاهرة يجب استخدام مصادر ضوئية ذات حزم إشعاعية ضيقة (Narrow Spectral Linewidth).

ب- تشتيت دليل الموجة Waveguide Dispersion

نظراً لاختلاف معامل الانكسار لكل من اللب والغشاء لليف البصري فإن الضوء ينتشر بسرعات مختلفة مما يؤدي إلى تفاوت زمني (Propagation Delay) والذي يتسبب في حصول تشتيت دليل الموجة.

عادة ما تكون قيمة تشتيت دليل الموجة قليلة مقارنة مع تشتيت المادة وكلا النوعين يعتمد على الطول الموجي (λ). و عند الطول الموجي (1310 nm) تتحقق الخاصية الهامة التالية: يكون تشتيت الدليل الموجي سالباً وتشتيت المادة موجباً ومجموعهما صفر. لذلك فإن أفضل طول موجي من ناحية التشتيت هو (1310 nm) حيث يسمى الطول الموجي ذو التشتيت الصفري (Zero-Dispersion Wavelength). لكن أفضل طول موجي من ناحية التوهين هو (1550 nm) ولهذا فقد تم تصميم ألياف بصرية يكون فيها التشتيت الصفري على الطول الموجي (1550 nm) حيث تسمى الألياف ذات التشتيت الصفري المزاح (Dispersion Shifted Fibers) والمعروفة اختصاراً (DSF). في الواقع العملي، تكون قيم تشتيت دليل الموجة ضئيلة جداً للألياف متعددة النمط بينما تُعطى لحالة الليف أحادي النمط ضمن مواصفاته.

٣- ٢- ٢ التشتيت الضمني " النمطي" Intermodal Dispersion

التشتيت الضمني أو الداخلي والذي يطلق عليه أيضاً في بعض المراجع تشتيت النمط (Multimode Dispersion) حيث يظهر هذا النوع من التشتيت في الألياف متعددة الانماط فقط، ففي الليف البصري متعدد الأنماط تسلك الحزم الضوئية مسارات مختلفة في الطول لكنها جميعها لها نفس السرعة مما يجعلها تصل نهاية الليف بأزمان مختلفة ولهذا يحصل الاتساع في عرض النبضات وما يتبعه من تشتيت. ويكون مقدار هذا الاتساع عالياً نسبياً في النوع العتبي من الألياف، أما في الألياف أحادية النمط فلا وجود لهذا التشتيت بسبب وجود نمط واحد فقط ينتشر عبر الليف.

٣- ٣ عرض النطاق لليف ومعدل المعلومات Fiber Bandwidth and Information Rate

يعتبر عرض النطاق (Bandwidth) والذي سنرمز له اختصاراً (BW) كأداة لقياس سعة نقل المعلومات لليف البصري وكما أشرنا سابقاً فإن التشتيت هو العامل المحدد لقيمة عرض النطاق. في حالة الأنظمة الرقمية عادة ما نستخدم سرعة إرسال البتات (Transmission Bit Rate) والتي سنرمز لها اختصاراً (BR) أو معدل المعلومات (Information Rate) والتي تعرّف بعدد البتات التي يمكن إرسالها في الثانية الواحدة عبر قناة الاتصال (الليف البصري). يمكننا توضيح العلاقة بين عرض النطاق وسرعة البتات بالاعتماد على نوع الشفرة (Code):

- في حالة شفرة عدم الرجوع للصفر (NRZ- Code)

$$BW = BR$$

- في حالة شفرة الرجوع للصفر (RZ- Code)

$$BW = BR/2$$

يمكننا إيجاد أقصى سرعة إرسال للبتات حسب العلاقة التالية:

$$BR_{max} = \frac{0.2}{\sigma} \quad bps \qquad (3.4)$$

حيث ترمز (σ) إلى جذر متوسط التربيع لاتساع عرض النبضات على مخرج الليف. عادة ما تقدم الشركات الصانعة ضمن المواصفات الفنية لليف قيمة حاصل ضرب عرض النطاق و الطول (BW×L) والتي يمكننا حسابها وفقاً للعلاقة التالية:

$$BW \times L = \frac{0.2}{\sigma_T} \qquad (3.5)$$

حيث ترمز(σ_T) إلى جذر متوسط التربيع الكلي لاتساع عرض النبضات للكيلومتر الواحد فقط.

تدريبات على الوحدة الثالثة

تمرين١: أكمل الجدول المبين أدناه:

P_{in} / P_{out}	P_{in} / P_{out} in dB
1	
8	
300	
0.02	
0.0004	
105	
10-6	

تمرين٢: أكمل الجدول المبين أدناه:

Power	Power Level
2 W	…… dBw
0.8 W	…… dBw
5 mW	…… dBm
12 mW	…… dBw
0.3 mW	…… dBm
40 µW	…… dBµ
10 mW	…… dBµ

تمرين٣: لديك خط نقل يستخدم ليفاً بصرياً بطول (6 km) . إذا علمت أن قيمة القدرة الداخلة على الليف تساوي (2 mW) والقدرة الخارجة منه تساوي (200 μW).

أوجد: (أ) معدل التوهين للكيلومتر الواحد.

(ب) طول الخط الجديد إذا علمت أن التوهين الكلي يساوي (15 dB) بمعدل (2 dB/km).

تمرين٤: أوجد قيمة القدرة الخارجة من ليف بصري بمعدل توهين (0.8 dB/km) وبطول (10 km) إذا كانت قيمة القدرة الداخلة (0.5 mW).

تمرين٥: لديك خط اتصال بصري بطول (8 km) لبناء هذا الخط تم استخدام ليف بصري متعدد النمط وعملية اللحام الكهربائي. إذا علمت أن طول البكرة الواحدة (2 km) والفقد في كل نقطة لحام يساوي (0.5 dB).

أوجد: (أ) التوهين الكلي إذا كانت القدرة على المدخل تساوي (1 mW) وعلى المخرج (10 μW).

(ب) التوهين للكيلومتر الواحد لنفس معطيات الفقرة (أ).

تمرين٦: لديك ليف بصري أحادي النمط بطول (10 km) وبمعدل جذر متوسط التربيع (5 ns/km). أوجد عرض النطاق لهذا الليف.

تمرين٧: على أي أساس تم تحديد النوافذ الموجية الثلاثة.

تمرين ٨: وضّح المقصود بألياف التشتيت المزاح.

تمرين٩: وضّح كيفية الحصول على التشتيت الصفري.

تمرين١٠: اذكر العوامل التي تعتمد عليها قيمة التوهين لليف البصري.

خطوط النقل والألياف البصرية

كيبلات الألياف البصرية

الوحدة الرابعة : كيبلات الألياف البصرية

الجدارة: هي القدرة على التعرف على أنواع وخصائص كيبلات الألياف البصرية وتطبيقاتها المختلفة...

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المتدرب القدرة على أن:

- يعرف أنواع كيبلات الألياف البصرية.
- يعرف الشروط والمواصفات الواجب توفرها في الكيبل البصري.
- يعرف تركيبة الكيبلات البصرية بأنواعها المختلفة.
- يعرف المشاكل التى تواجه الكيبلات البصرية وكيفية التغلب عليها.

مستوى الاداء المطلوب: أن يصل المتدرب على إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ٦ ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج "Power Point" لعرض محاضرات كيبلات الألياف البصرية.

متطلبات الجدارة:- أن يكون المتدرب ملماً بمحتوى الوحدة الثالثة

كيبلات الألياف البصرية

Fiber Optic Cables

مقدمة

درسنا في الوحدة السابقة أساسيات الألياف البصرية من جوانبه المختلفة، لكن في الواقع العملي فإن المصانع تنتج الألياف البصرية وتقدمها للمستخدمين على شكل كيبلات بموديلات وأحجام مختلفة وذلك حسب الطلب والتطبيق، ويعود السبب في ذلك إلى ضرورة ترتيب الألياف على شكل مجموعات وتوفير الحماية لها من أي ظروف جوية أو أي تأثيرات خارجية أخرى (لأنها صغيرة الحجم وهشة وقابلة للكسر) و تتوافر الكيبلات على شكل مجموعتين رئيستين:

- الكيبلات الخارجية (Outdoor Cables) :- وهي الكيبلات التي تستخدم خارج المباني.
- الكيبلات الداخلية (Indoor Cables):- وهي الكيبلات التي تستخدم داخل المباني.

٤- ١ الكيبلات الخارجية Outdoor Cables

لتقوم الكيبلات الخارجية بعملها بشكل جيد يجب توفر فيها المتطلبات التالية:

- العمل في مجال واسع لدرجات الحرارة.
- عدم دخول الماء إليها وذلك لضمان عدم وصول الماء للألياف والذي يتسبب في زيادة الفقد.
- مقاومة تأثير أشعة الشمس فوق البنفسجية.
- الثبات وعدم تلفها عند تعرضها لرياح شديدة أو أي تأثيرات ميكانيكية أخرى.
- يجب أن تكون متينة وذات غلاف خارجي سميك وقوي حيث يكون غالباً طبقة معدنية تحت الغلاف تسمى الدرع المعدني (Metal Armor).

توجد أنواع متعددة من الكيبلات الخارجية تبعا لطريقة ترتيب الألياف داخل الكيبل وكذلك تبعا لطبقات الحماية المضافة لحماية الألياف ومن أهمها :

٤-١-١ الكيبل ذو الأنبوب الواقي Loose Tube Cable

يتكون هذا النوع من الكيبلات من مجموعة من الأنابيب (Tubes) المفرغة وذلك لوضع الألياف داخلها حيث تتحرك بشكل حُر (Loose) مما يوفر الحماية لتلك الألياف ويرتبها على شكل مجموعات داخل الكيبل. يكون كل أنبوب بقطر من (2 mm) إلى (3 mm) ويحوي داخله عدداً من الألياف يصل إلى 12 ليفاً (الشكل ٤-١).

Aramid Yarn Protective Sheath
Polyethylene Jacket
Filling
Steel Armor
Center Strength Member
Optical Fiber
Ripcord
Optical Fiber
Loose Fiber
2 – 3 mm
Gel
Loose Tube
Loose Tube

الشكل (٤-١) الكيبل ذو الأنبوب الواقي

تُرتّب الأنابيب بشكل هندسي حول عنصر التقوية (Strength Member) والذي يكون في الغالب في وسط الكيبل. عادة ما يكون الأنبوب مفرغاً، لكن ولغرض منع وصول الماء أو الرطوبة إلى الألياف يملأ الأنبوب بمادة جلاتينية مقاومة للماء (Water Resistant Gel). وفي العادة يكون طول الليف داخل الأنبوب أطول من الأنبوب نفسه والذي يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار عند إجراء القياسات باستخدام جهاز (OTDR).

لتسهيل عملية التعرف على خط الاتصال وخاصة عند القيام بالقياسات فإن الأنابيب وكذلك الألياف عادةً ما تكون بألوان مختلفة وذلك لأن عددها كبير جداً (يصل إلى أكثر من 200 ليف). ولإعطاء الكيبل المزيد من القوة والمتانة ولتسهيل عملية سحبه (Pulling Operation) أثناء التمديد يكون داخله عنصر قاسي ومتين جداً يسمى عنصر التقوية (Strength Member) حيث يصنع من المعدن أو مادة عازلة قوية (Dielectric) أو الكفلار (Kevlar) وهو مادة صناعية على شكل خيوط رفيعة جداً تتمتع بمتانة ومرونة عالية جداً.

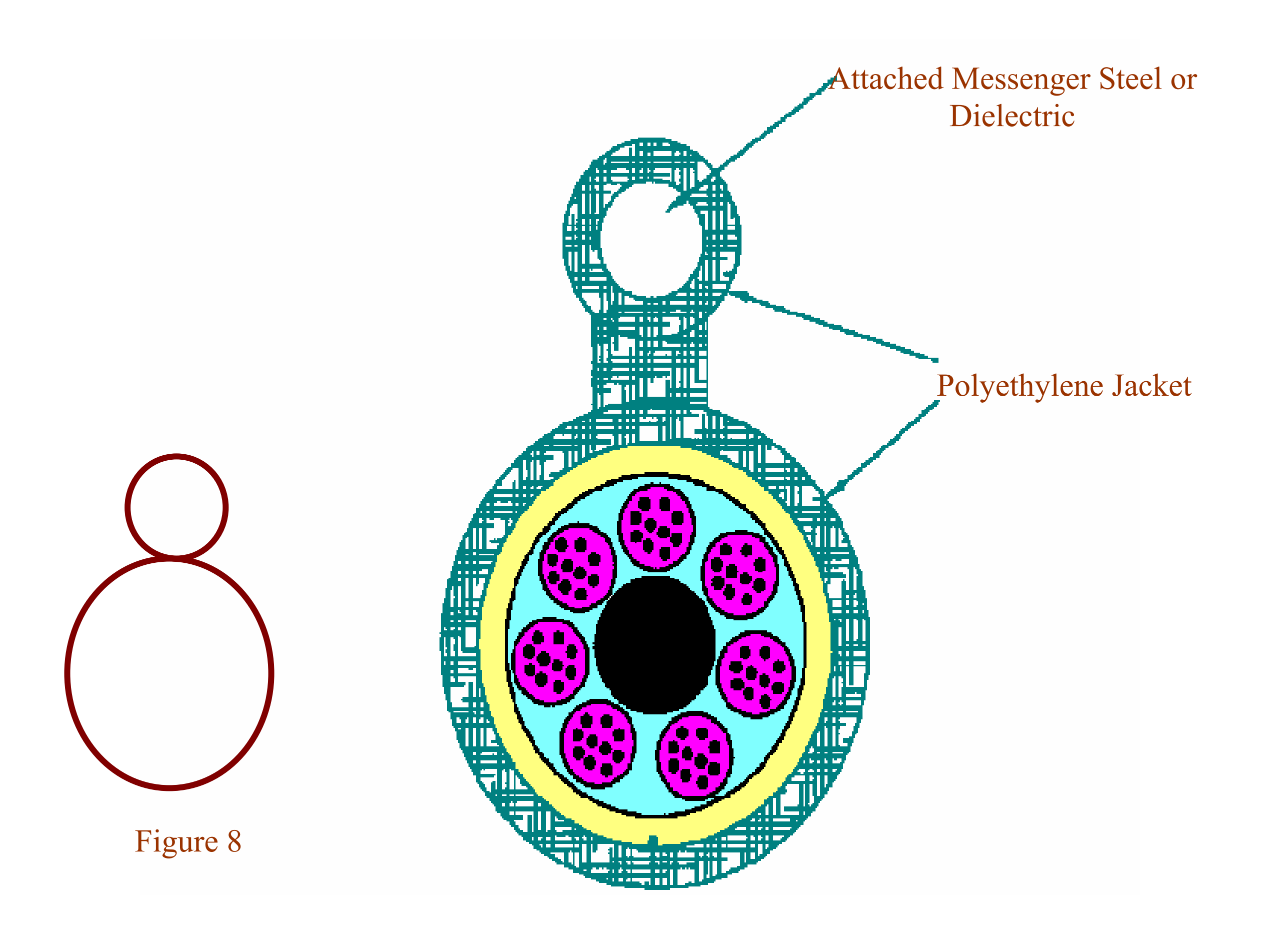
وعادة ما تتم صناعة الغلاف الخارجي للكيبل (Jacket) من المواد البلاستيكية (Polyethylene) أو المطاط (Rubber) أو من المعدن (Steel Armor) وللمزيد من المعلومات عن أي كيبل دائماً يتم الرجوع إلى مواصفات الشركة المنتجه للكيبل.

٤- ١- ٢ الكيبل ذو الشكل "8" Figure 8 Cable

جاءت تسمية هذا الكيبل لأن المقطع العرضي له يشبه رقم (8) في الأرقام العربية شكل (٤-٢)، حيث يعتبر كيبلاً عادياً من النوع السابق ذي الأنبوب الواقي مثبتاً معه حامل معدني (Steel Holder) حيث يستعمل خصيصاً للتعليق، لذلك فهو مناسب للاستخدام في التركيبات الهوائية (Aerial Installation)، وعادة ما يصنع الحامل من المعدن أو العازل ويكون مغطى بطبقة من الغلاف الخارجي.

نظراً لتعرض الكيبلات الهوائية للعوامل والتأثيرات الجوية المختلفة (أشعة الشمس، الرياح، ....) كذلك الشد الناتج عن وزن الكيبل عند التعليق يجب أن تتمتع بدرجة عالية من المتانة.





الشكل (٤- ٢) الكيبل البصري ذو شكل "8"

٤- ١- ٣ الكيبل ذو الدرع المعدني Armored Cables

تتميز الكيبلات ذات الدرع المعدني بوجود طبقة معدنية (Steel Armor) تحت الغلاف الخارجي للكيبل (انظر الشكل ٤- ٣)، مما يعطي الكيبل المزيد من القوة والمتانة ويساعد في تحسين حماية الألياف من التأثيرات الخارجية ويمنع وصول الماء إلى الألياف. هذه الكيبلات تتوافر بطبقتين من المعدن والتي تسمى الكيبلات ذات الدرع المزدوج (Double-Armor) للمزيد من الحماية وخاصة عند استخدام الكيبلات في المناطق القاسية. ويجب التنويه إلى أنه يجب تأريض (Grounding)

الطبقة المعدنية في جميع مناطق التوصيلات واللحام ومداخل المباني. وتستخدم هذه الكيبلات مدفونة تحت الأرض (Buried Cables) أو في المناطق الصناعية ذات الظروف الصعبة.

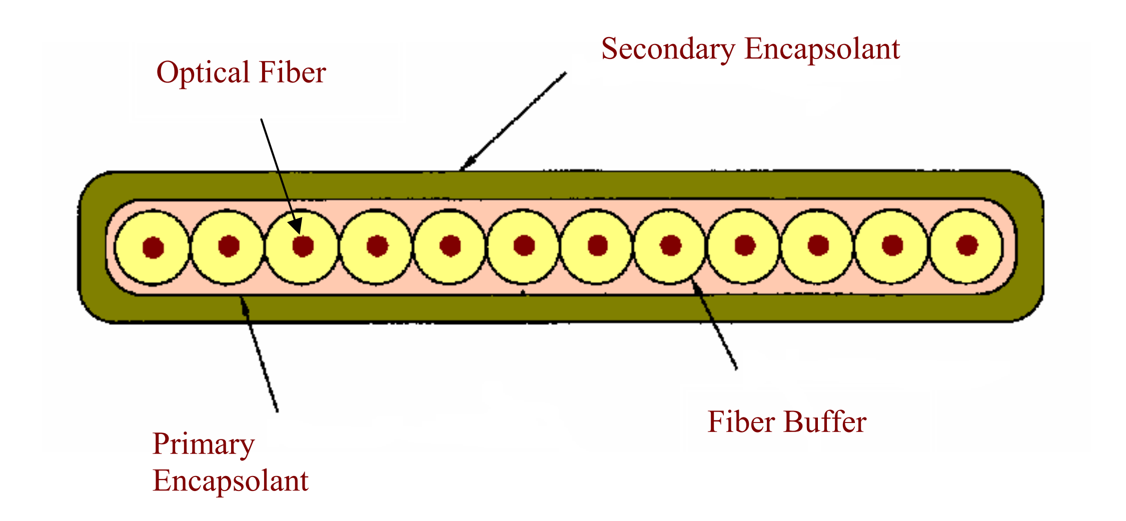
Protective Sheath
Polyethylene Outer Jacket
Polyethylene Inner Jacket
Filling
Steel Armor
Loose Tube
Center Strength Member
Optical Fiber
Ripcord

الشكل (٤- ٣) كيبل بصري ذو درع معدني

٤- ١- ٤ الكيبل الشريطي Ribbon Cable

لقد تم تقديم الكيبل الشريطي في الأسواق كحل عملي لزيادة كثافة الألياف (عددها) داخل الكيبل وتقليل الوقت اللازم لتحضير وتجهيز الكيبل وإتمام عمليات الربط واللحام. يتمثل هذا الحل بوضع وترتيب مجموعة من الألياف البصرية بشكل صفي مما يجعلها تشبه الشريط (Ribbon) ومن هنا جاءت التسمية (انظر الشكل ٤- ٤). يتراوح عدد الألياف في الشريط الواحد من (12) إلى (24) حيث يوضع كل شريط داخل أنبوب واقٍ (Buffer Tube). يصل عدد الألياف في الكيبلات

الشريطية إلى أكثر من (800) ليف في الكيبل الواحد مقارنة مع (200) ليف كأعلى سعة للكيبلات العادية.



الشكل (٤ -٤) شريط من الألياف البصرية

ميزات الكيبل الشريطي:-

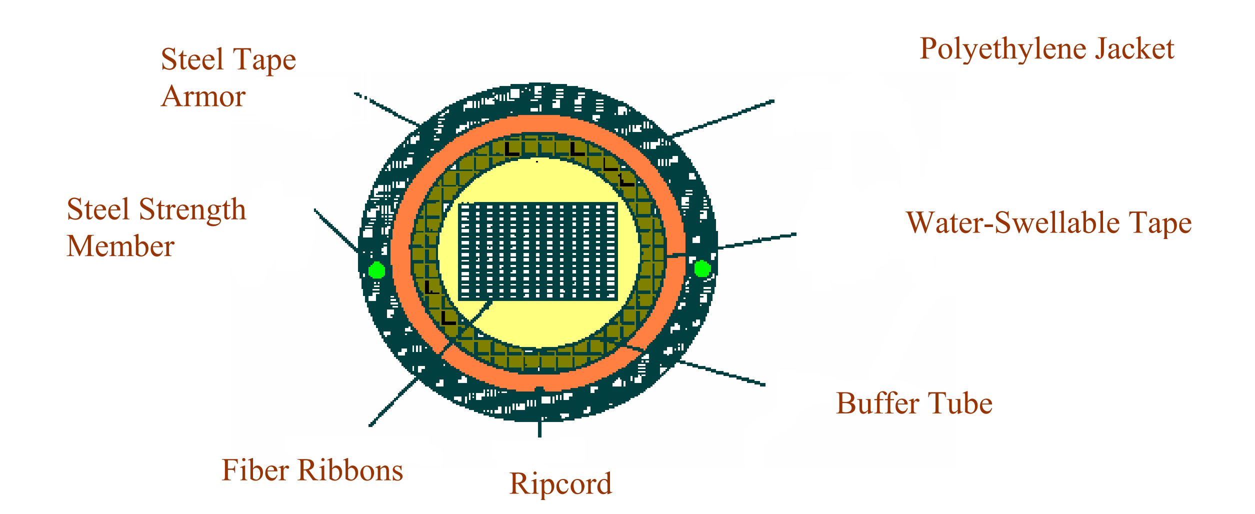
- السعة العالية جداً.
- إمكانية استخدام اللحام الجماعي مما يقلل الوقت والتكاليف مقارنة مع ما هو مستخدم في الكيبلات العادية.
- إمكانية الحصول على أطوال أكبر على البكرة الواحدة وذلك بسبب الزيادة في أعداد الألياف في الكيبل الواحد.

▪ **عيوب الكيبل الشريطي:-**

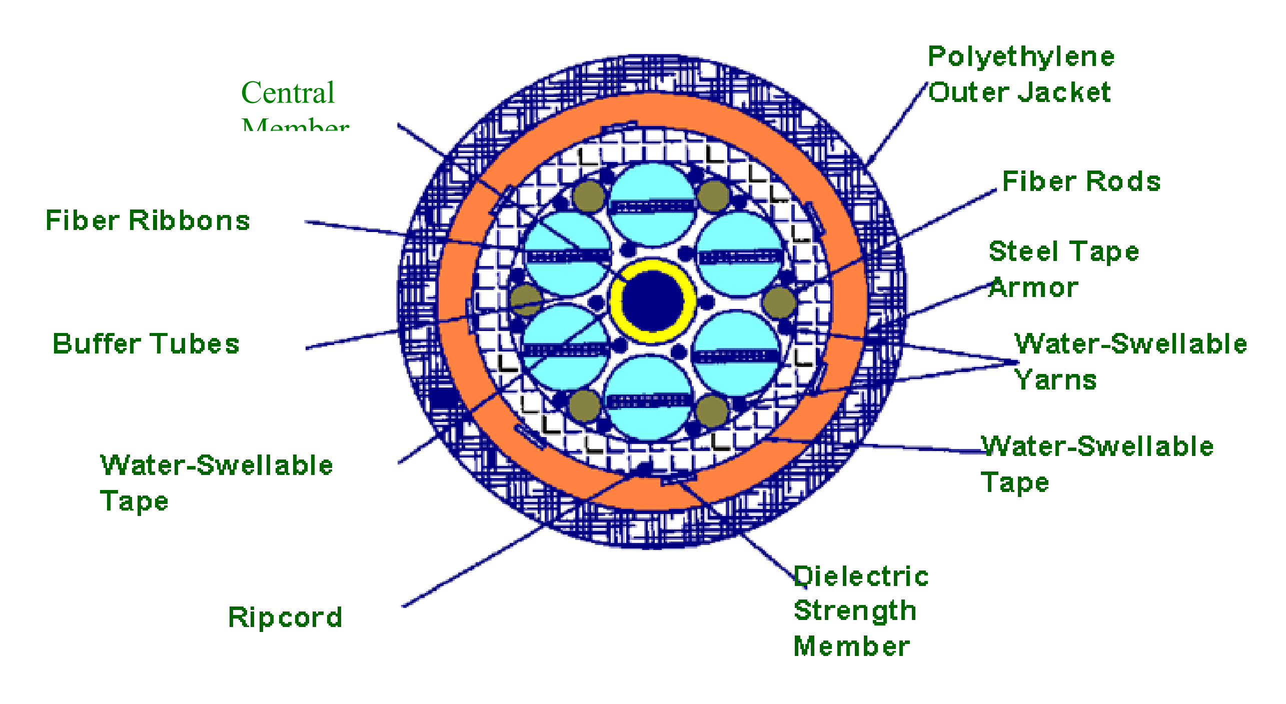
- الحاجة إلى نوع خاص من أدوات وأجهزة اللحام الجماعي وما يتبع ذلك من تدريب وتأهيل.
- الحاجة إلى خزائن لتثبيت وحفظ الكيبل الشريطي في مناطق اللحام(Splice Enclosure).

ويتوفر حاليا في الأسواق نوعان رئيسيان من الكيبلات الشريطية:

- **النوع الأول:** ذو التصميم المركزي (Single Central Tube) حيث تتواجد الأشرطة التي تحوي الألياف كمجموعة في مركز الكيبل (انظر الشكل ٤- ٥).
- **النوع الثاني:** ذو الأنبوب الواقي (Loose Tube Ribbon Cable) حيث يوضع كل شريط ليفي داخل أنبوب واقٍ (Loose Tube) وترتّب هذه الأنابيب داخل الكيبل حول عنصر التقوية ، الشكل (٤- ٦).



الشكل (٤- ٥) الكيبل الشريطي ذو التصميم المركزي



الشكل (٤- ٦) الكيبل الشريطي ذو الأنبوب الواقي

٤- ٢ الكيبلات الداخلية Indoor Cables

ليس من الضروري أن تكون الكيبلات الداخلية صلبة وذات متانة عالية كما هو الحال مع الكيبلات الخارجية وذلك لكونها تستخدم داخل المباني حيث الظروف الجوية المناسبة وتكون محمية من التأثيرات الخارجية على اختلاف أشكالها ، لكن وفي نفس الوقت، يجب توافر الشروط التالية:

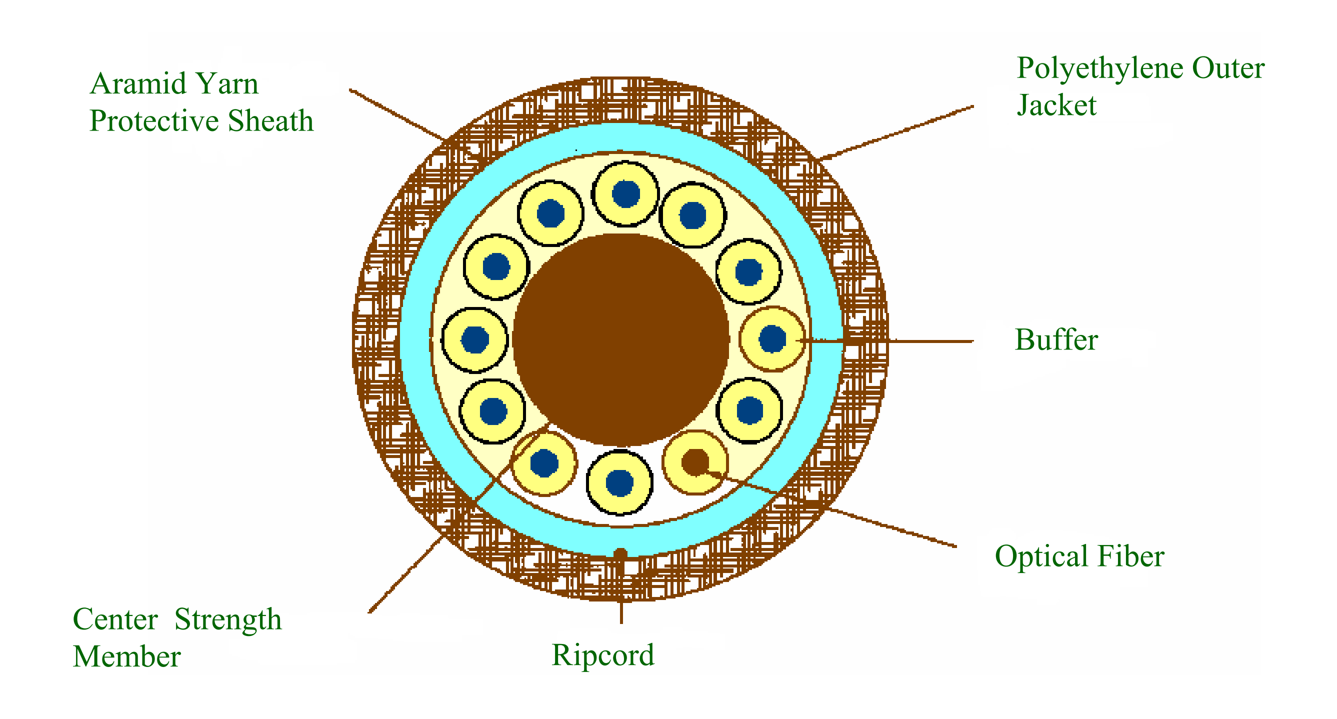
- أن توفر الحماية للألياف التي بداخلها من أي تأثيرات خارجية خلال و بعد التركيب.
- أن تكون ذات مرونة عالية وذلك لتسهيل تمديدها وتوصيلها داخل المباني والمنشآت.
- أن تتوافق وتتلاءم مع المواصفات والمقاييس للمباني والمنشآت المعتمدة في البلد المعني.

٤- ٢- ١ الكيبل ذو الغلاف الواقي الضيق Tight Buffered Cable

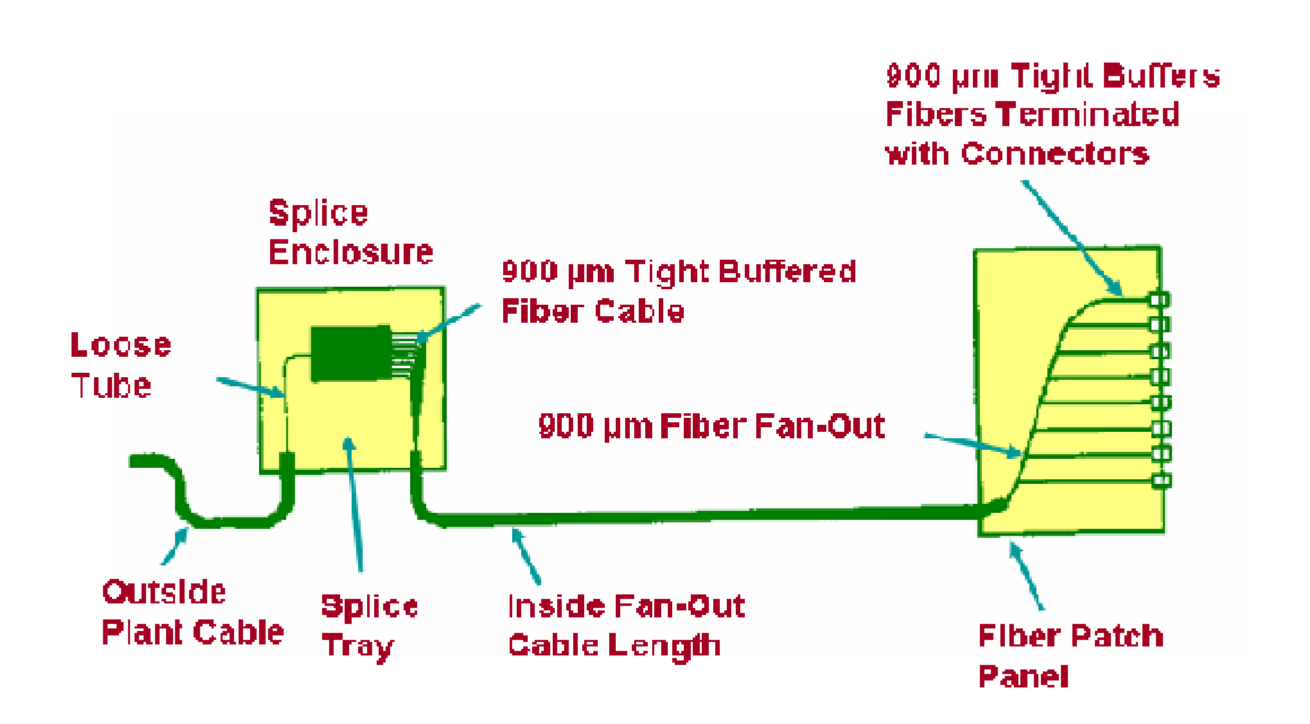
لقد تم تصميم وتصنيع هذا النوع من الكيبلات للاستخدامات الداخلية (Internal Applications). حيث يوضع الغلاف الواقي الضيق (Buffer) والمصنوع عادة من البلاستيك في هذا النوع من الكيبلات فوق الليف البصري مباشرة وذلك لتوفير الحماية له من التأثيرات الخارجية ولإعطاء الليف البصري المزيد من السماكة. يصل قطر الليف البصري مع طبقة الغلاف الواقي الضيق إلى (900 µm) والذي يحيط بغلاف أولي (Coating) قطره (250 µm)، انظر الشكل (٤- ٧). تجدر الإشارة إلى أن الكيبل ذا الغلاف الواقي الضيق أكثر مرونة من مثيله الكيبل ذا الأنبوب الواقي ولذلك فإنه يتميز بنصف قطر انحناء (Bend Radius) أقل.

٤- ٢- ٢ الكيبل المربوط مع الوصلات Fan-Out Cable

يعتبر هذا الكيبل كيبلاً ذا غلاف واقٍ ضيق بحيث إن النهاية الطرفية لكل ليف مربوطة مع وصلة (Connector) مجهزة في المصنع بمستوى وإتقان عالٍ، انظر الشكل (٤- ٨). كل ليف داخل هذا الكيبل يكون مغطى بغلاف واقٍ ضيق بقطر (900 µm) عندما يستخدم في لوحات (خزائن) التوزيع، وبغلاف واقٍ بقطر (3000 µm) عندما يستخدم الكيبل للتوصيل مع الأجهزة والمعدات.



الشكل (٤- ٧) الكيبل ذو الغلاف الواقي الضيق



الشكل (٤- ٨) الكيبل المربوط مع الوصلات واستخدامه في لوحات التوزيع

٤- ٢- ٣ وصلات القياس البصرية Fiber Optic Patch Cords

لإجراء القياسات المختلفة، عادة ما يلزم وجود وصلات قياس (تسمى أيضاً Jumpers) بأشكال ومقاسات متنوعة الشكل (٤- ٩) وهي عبارة عن قطع من الألياف البصرية من مختلف الأنواع وبطول من متر إلى 5 أمتار. بعض هذه الوصلات يحتوي على ليف واحد ويكون لون غلافها الخارجي أصفر والبعض الآخر يحتوي على زوج من الألياف ويكون لون غلافها برتقالياً. تستخدم هذه الوصلات لربط الأجهزة إلى الليف البصري عن طريق لوحات التوزيع أو ربط الأجهزة مع بعضها البعض.



شكل (٤- ٩) وصلات القياس للالياف البصرية

٤- ٣ كيبلات التطبيقات الخاصة Special Cables

خلافاً للأنواع التي تم شرحها سابقاً، هنالك مجموعة من الكيبلات ذات الاستخدامات الخاصة نقدمها باختصار كما يلي:

أ- الكيبلات البحرية Submarine Cables

تستخدم هذه الكيبلات تحت الماء حيث تكون مغمورة وتتعرض لضغط عالٍ وتحتاج إلى قوة شد عالية لسحبها، لذلك يجب أن تكون ذات متانة عالية جداً، حيث تستخدم أكثر من طبقة من الأسلاك الفولاذية مما يمنح الكيبل متانة عالية وتحمل كبير للوزن، كذلك يجب أن تحتوي على طبقات إضافية لمنع وصول الماء إلى داخل الكيبل. وهنا لا بد من عزل الأسلاك النحاسية المغذية لمحطات التقوية وإعادة البث عن الماء وذلك باستخدام مواد بلاستيكية ذات عزل جيد.

ب- الكيبلات الهوائية ذات التثبيت الذاتي Self - Supporting Aerial Cable

عادة ما تكون هذه الكيبلات من النوع ذي الأنبوب الواقي المزودة بعنصر تقوية متين (غالباً ما يكون Kevlar) وغلاف خارجي قوي، وبذلك فلا يلزم وجود الحامل (Holder) للتثبيت. وكحالة خاصة، يستخدم ما يسمى بكيبل التثبيت الذاتي المصنع كليا من مواد عازلة (All-Dielectric Self-Supporting Cable) في المناطق الخطرة القريبة من خطوط الضغط العالي الكهربائية. وعادة ما تتعرض هذه الكيبلات للعوامل الجوية المختلفة كالرياح والأمطار والعواصف وأشعة الشمس مما يتطلب مراعاة كل ذلك عند التصميم والتصنيع.

جـ - الكيبلات الصناعية Industrial Cables

يمكننا استخدام الكيبلات العادية ذات الاستخدام العام (General Purpose Cables) في المنشآت الصناعية ولكن يجب أن تكون درجة الحماية عالية لمقاومة التأثيرات الخارجية التي يمكن أن تتعرض لها، كذلك تستخدم مواد عازلة كهربائياً (بما في ذلك عنصر التقوية) لمنع حصول التداخل الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Interference) والتوصيل الكهربائي.

د- كيبلات الاتصالات العسكرية Military Communication Cables

غالباً ما تكون الظروف والأحوال التي تعمل فها الكيبلات ذات الاستخدام العسكري أكثر قسوة من مثيلاتها المستخدمة في المواقع المدنية، ومن هذه الظروف تعرضها لدرجات حرارة عالية ولأشعة الشمس المباشرة والغبار كذلك تتعرض لحركة آليات ثقيلة فوقها وإمكانية تعرضها وتأثرها بالأسلحة النووية والكيميائية. لذلك نجد الكيبلات العسكرية تتمتع بأكثر من طبقة حماية ومن نوعية مواد عالية الجودة.

هـ - كيبلات الاستخدام الخاص Special Purpose Cables

في كثير من الأحيان هنالك حاجة ماسة لبعض التصاميم التي تلبي تطبيقات معينة، فمثلاً هنالك الحاجة للكيبلات التي تحوي داخلها أسلاكاً نحاسية وذلك لنقل الكهرباء وتغذية محطات التقوية وإعادة البث، كذلك تطلب بعض الجهات كيبلات لاستخدامها بالقرب من خطوط الضغط العالي. عادة ما يتم تصميم وتصنيع هذه الكيبلات بناء على طلبات تقدمها جهات معينة لاستخدامها الخاص.

٤-٤ المشاكل التي تواجه الكيبلات البصرية

هنالك العديد من المشاكل التي تواجهنا عند استخدامنا لكيبلات الاتصالات البصرية وسوف نتطرق إلى أهمها ووسائل الوقاية منها :

أ- صدأ الجلفنة Galvanic Corrosion

بسبب درجات الحرارة المرتفعة ينتج الهيدروجين عن المواد المعدنية فيتسبب في صدأ الجلفنة ويعتمد ذلك على نوعية تلك المواد وطريقة تصنيعها ، وكذلك ينتج الصدأ عند وصول الماء أو الرطوبة داخل الكيبل وملامسته للأجزاء المعدنية الموجودة. وعادة ما يؤخذ ذلك بعين الاعتبار في التصميم فتضاف طبقات خاصة تمنع وصول الماء والرطوبة داخل الكيبل وتقلل من تأثير الهيدروجين.

ب- القوارض Rodents

تتعرض الكيبلات بشكل عام والمدفونة منها بشكل خاص إلى القوارض المختلفة التي قد تتسبب في تلف أجزاء من الكيبل، لذلك لا بُد من استخدام طبقات معدنية (فولاذية) بسماكة مناسبة مغطاة بمواد بلاستيكية لتوفير الحماية من تلك القوارض ولمنع وصولها للألياف. كذلك تصنع مواد كيميائية خاصة تدخل في صناعة طبقات الحماية لا تقترب منها القوارض.

جـ- تسرب المياه Water Ingress

من المشاكل الرئيسة التي تتعرض لها الكيبلات دخول الماء أو الرطوبة داخل الكيبل ووصوله إلى الألياف مما يؤدي إلى زيادة الفقد وبالتالي ارتفاع نسبة التوهين. وحل هذه المشكلة يكمن في استخدام مواد خاصة عازلة للماء (Water Resistant Gel) منها جلي البترول وشحوم السيليكون.

د- تغير درجات الحرارة Temperature Change

تتأثر الكيبلات البصرية بتغيّر درجات الحرارة، حيث إن تمدد المواد الداخلة في تركيبها مختلف فالبلاستيك وهو أكثرها تمدداً يختلف عن الليف وعن المعدن المستخدم للتقوية أو لطبقات الحماية. وبالمقابل يؤدي انخفاض درجات الحرارة إلى انكماش الليف البصري ولذلك يجب استخدام عناصر تقوية من مواد مناسبة ويفضل وضع الليف داخل الأنبوب بشكل لولبي مما يزيد من طول الليف ويجعله حُر الحركة وبالتالي لا يتأثر بعملية الشّد الناتج عن الانكماش.

أخيراً تتأثر الكيبلات البحرية بمشكلة الضغط المائي والتي تؤدي أحياناً إلى تلف أنابيب الوقاية الداخلية وتلف الكيبل ككل، لذلك يجب مراعاة ذلك واختيار مواد ذات مقاومة عالية تتحمل الضغط المائي والذي يجب حسابه وأخذه بعين الاعتبار مسبقاً. والجدول (٤- ١) يوضح مثال عملي للمواصفات العملية لاحد كوابل الألياف البصرية

جدول (٤- ١) مثال على المواصفات الفنية لكيبل اتصالات بصري.

Specification	Value	Explanation
Cable type	Loose tube	
Number of fibers	18	
Nominal weight:	166 kg/km	
Diameter	14.4mm	
Temp. range:		
-Storage	-40 to 70°c	
-Operating	-40 to 70°c	-3 active tubes, 6 fibers
-Installation	-30 to 50°c	per tube
Max. Tensile rating:		
-Installation	2700 N	±5%
-Permanent	600 N	Storing cable on reel
Minimum bend radius:		Installed operating temperature.
-Installation	22.5 cm	-During installation and handling
-Permanent	15 cm	
Maximum rise	247 m	
Jacket	Polyethylene	
Central member	Dielectric	
Copper pairs	None	

تدريبات على الوحدة الرابعة

تمرين١ : اذكر الشروط الرئيسة التي يجب توافرها في الكيبلات الخارجية؟

تمرين ٢ : اذكر الشروط الرئيسة التي يجب توافرها في الكيبلات الداخلية؟

تمرين ٣: اذكر أهم المواد التي تستخدم كعناصر تقوية للكيبل؟

تمرين ٤ :اشرح وظيفة كل من المكونات التالية؟

- عنصر التقوية.
- الجل الذي يوضع داخل الكيبل.
- الدرع المعدني.
- الغلاف الخارجي.
- الأنبوب الواقي.

تمرين ٥: اذكر الميزات الإيجابية للكيبل الشريطي؟

تمرين ٦: وضّح المقصود بمشكلة صدأ الجلفنة وكيفية التخلص منها؟

تمرين ٧:اشرح تأثير الماء ودرجة الحرارة على الكيبل البصري؟

تمرين ٨: ما الشروط الواجب توافرها في الكيبلات العسكرية؟

تمرين ٩: وضّح مستعيناً بالرسم فكرة الكيبل المربوط مع الوصلات (Fan-Out Cable)؟

تمرين ١٠: بالرجوع إلى الإنترنت قدم المواصفات العملية والفنية لأنواع الكيبلات التي درستها؟

خطوط النقل والألياف البصرية

توصيل وربط الألياف البصرية

الوحدة الخامسة : توصيل وربط الألياف البصرية

الجدارة: هي القدرة على دراسة المشاكل والمعوقات التي تظهر عند ربط وتوصيل الألياف البصرية...

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المتدرب القدرة على أن:

- يعرف طرق ربط وتوصيل الألياف البصرية.
- يدرس أشكال عدم الموائمة عند توصيل الألياف البصرية.
- يدرس المشاكل الداخلية الناتجة عن توصيل الاليا ف البصرية
- يتعرف على أنواع أدوات التوصيل ومواصفاتها العملية.
- يدرس الروابط (Couplers) وكيفية حساب الفقد لها.

مستوى الاداء المطلوب: أن يصل المتدرب على إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ٤ ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج "Power Point" لعرض محاضرات توصيل وربط الألياف البصرية.

متطلبات الجدارة:- أن يكون المتدرب ملماً بمحتوى الوحدة الثالثة والرابعة.

توصيل وربط الألياف البصرية

Fiber Optic Connections

مقدمة

من المعروف أن أنظمة الاتصالات البصرية تستخدم لنقل المعلومات إلى مسافات بعيدة جداً، ولذلك يجب ربط وتوصيل الألياف البصرية للحصول على الطول المطلوب. كذلك لا بُد من إيجاد طريقة فعّالة لتوصيل الليف إلى جهاز الإرسال (Transmitter) وجهاز الاستقبال (Receiver). لقد كانت المشكلة الأساسية في إيجاد طرق سهلة واقتصادية لتوصيل هذه الألياف مع بعضها البعض بأقل فقد ممكن، ويعود السبب في ذلك إلى صغر حجم الليف وسهولة كسره كونه مصنوعاً من الزجاج، وهنالك طريقتان لتوصيل الألياف مع بعضها البعض:

- اللحام (Splicing):

وهو طريقة ثابتة للتوصيل وأكثر الطرق انتشاراً وجدوى واللحام المقصود هنا هو اللحام بالانصهار الكهربائي (Fusion Splicing)، كذلك يستخدم اللحام الكيميائي (Chemical Splicing) في حالة الألياف البلاستيكية، وسوف نقوم بدراسة عملية لحام الليف بشكل مفصل في الوحدة القادمة.

- **وصلات الألياف** (Fiber Connectors):

أو ما يسمى اللحام الميكانيكي (MechanicalSplicing) وهي عبارة عن وصلات متحركة (Removable Connectors)، بسيطة،سريعة حيث يتم بواسطتها توصيل الألياف مع بعضها يدوياً.

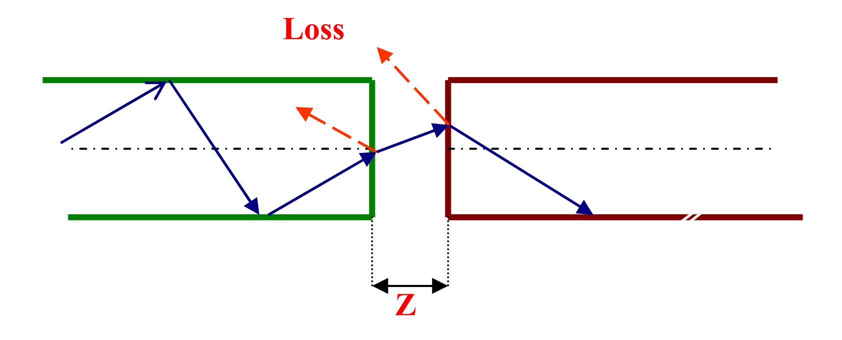
٥- ١ محاذاة الليف وفقد الوصلات Fiber Alignment and Joint Loss

في جميع أنواع الألياف البصرية هنالك مشاكل تظهر عند توصيلهما مع بعضهما البعض وهذه المشاكل تتسبب في زيادة الفقد لذلك لابُد من محاذاة (Alignment) الألياف قبل إجراء عملية التوصيل. وكذلك التأكد من أن الليفين المراد توصيلهم معا متطابقين تماما. وهذه المشاكل هي:-

٥- ١- ١ مشاكل عدم المحاذاة بين الألياف Fiber Misalignment Problems

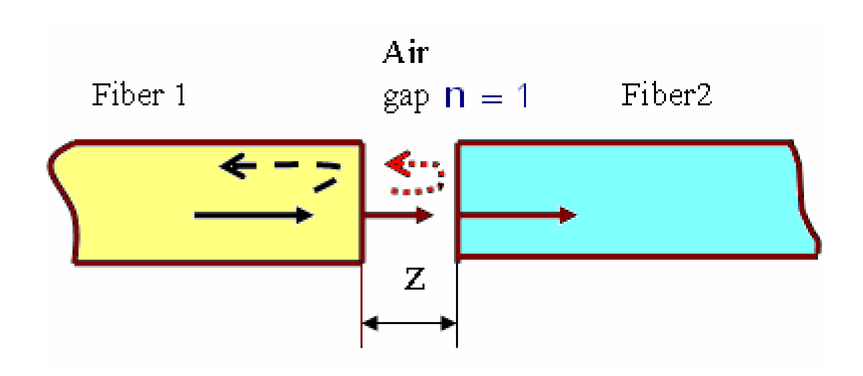
- **أولاً: عدم المحاذاة الطولية** Longitudinal Misalignment

تظهر هذه المشكلة عند توصيل ليفين باستخدام أدوات التوصيل (Connectors) حيث يبقى فراغاً بينهما وسوف نرمز له بالرمز (Z) (انظر الشكل ٥- ١). تؤدي عدم المحاذاة الطولية إلى حصول انعكاس فرسنل.



الشكل (٥- ١) عدم المحاذاة الطولية

يمكننا تعريف انعكاس فرسنل بأنه عبارة عن ظاهرة مرتبطة بتغيّر معامل الانكسار عند انتقال الضوء من الليف إلى الآخر الموصول به (عادةً ما يفصل الفراغ بين الليفين) مما يؤدي إلى انعكاس جزئي (Partial Reflection) للضوء المنتشر في الاتجاهين (انظر الشكل ٥- ٢). قيمة الفقد في قدرة الضوء بسبب انعكاس فرسنل تزداد كلما زاد الفرق بين معاملي الانعكاس لكل من الليفين والوسط الفاصل بينهما.

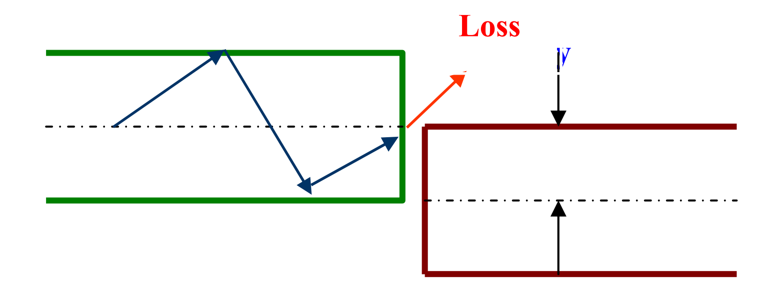


الشكل (٥- ٢) ظاهرة انعكاس فرسنل

للتقليل من تأثير انعكاس فرسنل، يجب ملء الفراغ بين الليفين بمادة خاصة لها نفس معامل الانكسار للب اليف (n_1) حيث تسمى (Index Matching Gel).

- **ثانياً: عدم المحاذاة الجانبية** Lateral Misalignment

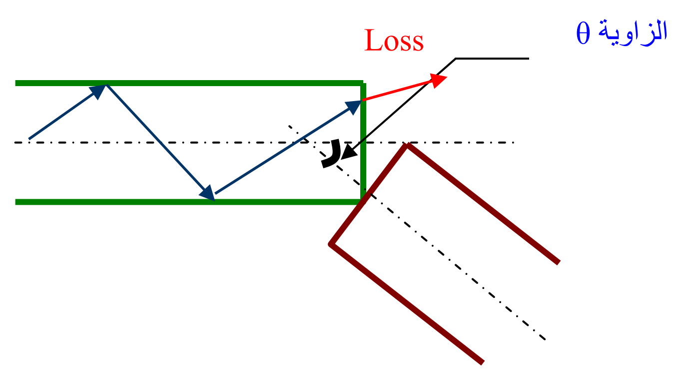
تظهر هذه المشكلة عند توصيل ليفين باستخدام اللحام أو أدوات التوصيل، حيث تظهر إزاحة جانبية والتي سنرمز لها (y)، انظر الشكل (٥- ٣). تتسبب عدم المحاذاة الجانبية في حصول فقد في قدرة الضوء تعتمد قيمته على نوع الليف ومقدار الإزاحة (y).



الشكل (٥- ٣) عدم المحاذاة الجانبية

- **ثالثاً: عدم المحاذاة الزاويّة** Angular Misalignment

تظهر هذه المشكلة عند توصيل ليفين باستخدام اللحام أو أدوات التوصيل، حيث تظهر زاوية بين امتداد الليف الأول والثاني والتي سنرمز لها (θ)، انظر الشكل (٥- ٤). تتسبب عدم المحاذاة الزاويّة في حصول فقد في قدرة الضوء تعتمد قيمته على نوع الليف ومقدار الزاوية (θ).



الشكل (٥- ٤) عدم المحاذاة الزاويّة

٥- ١- ٢ المشاكل الداخلية لتوصيل الألياف Connection Internal Problems

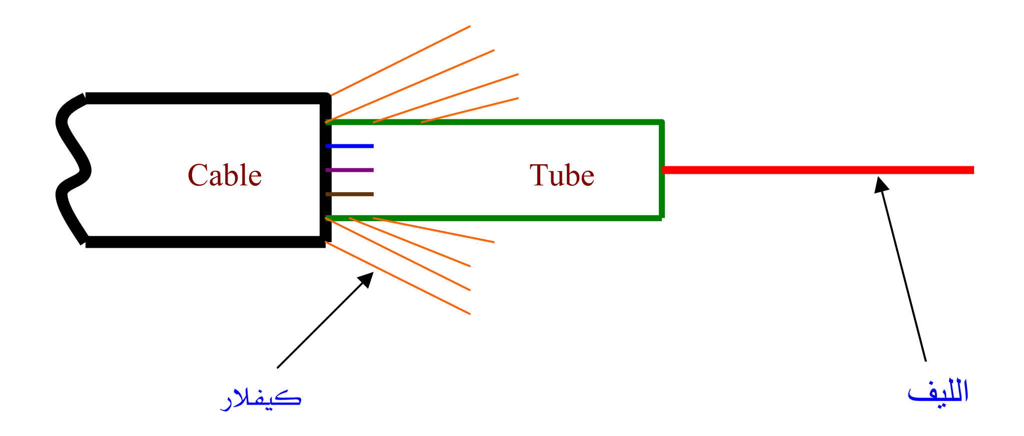
عند توصيل الألياف البصرية تظهر مشاكل داخلية ويكون سببها عدم مطابقة بعض القيم لليفين مما يؤدي لحدوث فقد وهذه المشاكل هي

- اختلاف قطر اللب / أو الغشاء (Different Core and / or Cladding Diameters)
- اختلاف فتحة النفوذ العددية (Different Numerical Aperture)
- اختلاف شكل معامل الانكسار (Different Refractive Index Profiles)

٥- ٢ الوصلات Connectors

يلزمنا استخدام الوصلات من أجل ربط وتوصيل الألياف البصرية بطريقة سهلة ومستعجلة دون الحاجة لاستخدام جهاز اللحام، كذلك لتوصيل طرف الليف لجهاز الإرسال والطرف الآخر لجهاز الاستقبال. في أنظمة الاتصالات البصرية، غالباً ما تكون مشاكل وأعطال فنية في النقاط التي يستخدم فيها الوصلات (Connectors).

قبل القيام بربط وتوصيل الوصلات إلى الليف البصري يجب تجهيزه وذلك بإزالة جميع الطبقات والأغلفة التي تحيط بالليف (الشكل ٥- ٥)



الشكل (٥- ٥) تحضير الكيبل البصري للربط مع الوصلات

٥- ٢- ١ الخصائص الأساسية للوصلات Connector Characteristics

هنالك ثلاث خصائص رئيسة يجب الانتباه لها عند اختيار واستخدام الوصلات:

أ- فقد الإدخال Insertion Loss

يعتبر فقد الإدخال أهم خاصية للوصلات وتمثل مقدار الفقد بالديسبل الذي يتعرض له الضوء عند عبوره من خلال الوصلة، حيث تُعطى في المواصفات التي يقدمها المصنّع. عادة ما نجد قيمتين: الأولى تمثل متوسط فقد الإدخال (Average Insertion Loss) حوالي (0.25dB) والثانية تمثل القيمة القصوى لفقد الإدخال (Maximum Insertion Loss) حوالي (0.5 dB).

ب- الفقد الراجع Return Loss

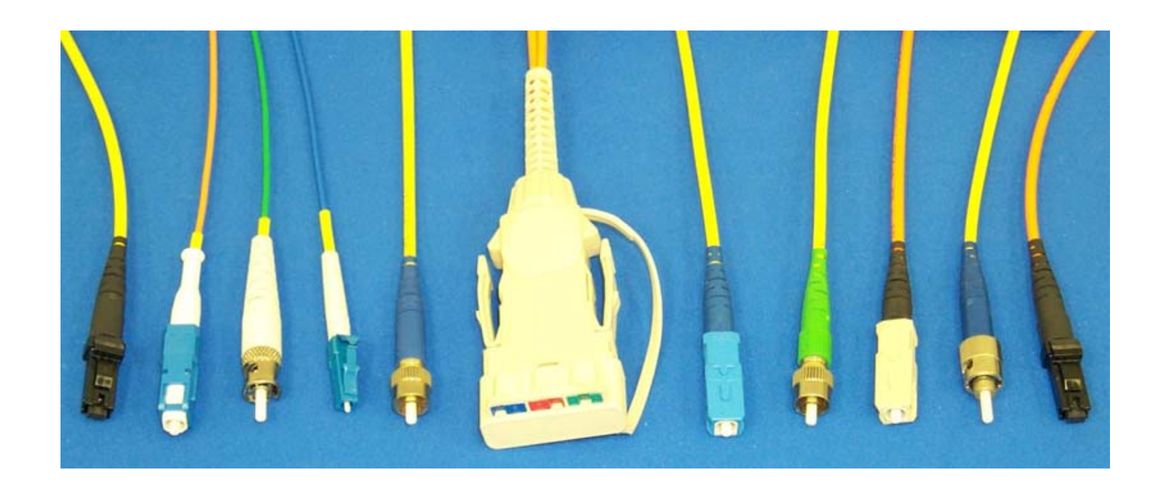
هنالك مشكلة عملية عند ربط الوصلات مع الليف البصري تتمثل في ارتداد (انعكاس) جزء من الضوء عند عبوره خلال الوصلة **إلى** بداية الخط مما يؤدي إلى فقد جزئي وإلى حصول خلل في عمل المصدر الضوئي (الليزر تحديداً). إن القيم المعتادة للفقد الراجع (المرتد) تكون أقل من (50 dB -)، ولتوضيح هذا الرقم، فهو يعني أن الجزء المنعكس من القدرة البصرية أقل من واحد من مائة ألف.

ت- التحمّلية أو المتانة Durability

من المعروف أن الوصلات تستخدم بشكل مؤقت وليس دائم، لذلك يجب أن تتمتع بالتحمّل وإمكانية الفك والتركيب لأكبر عدد ممكن من المرات، حيث يعتمد ذلك على نوعية وجودة التصنيع. إن الأنواع الجيدة من الوصلات يمكن أن تستخدم لعشرات المرات.

٥- ٢- ٢ أنواع الوصلات Connector Types

هنالك الكثير من الأنواع والموديلات المختلفة للوصلات المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية تبعاً لنوع الليف وقياساته ونوع الأجهزة المستخدمة (أجهزة الإرسال والاستقبال والقياس). يظهر الشكل (٥- ٦) بعض أنواع الوصلات والشكل (٥- ٧) يوضح مجموعة من الأنواع الواسعة الانتشار وبعض الملحوظات عليها باللغة الإنجليزية.



الشكل (٥- ٦) أنواع مختلفة للوصلات المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية

٥- ٢- ٣ قراءة المعطيات للوصلات Reading Data Sheet of Connectors

عادة ما تتضمن المعطيات التي تقدمها الشركات المصنعة للوصلات على المعلومات التالية:

- موديل وشكل القابس (Plug)، حيث يرمز لها ST, SC, FC, ...
- الاسم والماركة التجارية للمنتج (Manufacturer Brand Name)
- الأشكال والموديلات للأجهزة التي تتوافق مع الوصلة (Connector Compatibility)
- فقد الإدخال (Insertion Loss)
- الفقد الراجع (Return Loss)
- التحمّلية (Durability)
- مدى درجات الحرارة التي تعمل فيها (Operating Temperature Range)

بالإضافة إلى معلومات وبيانات أخرى نجدها في المواصفات العملية.

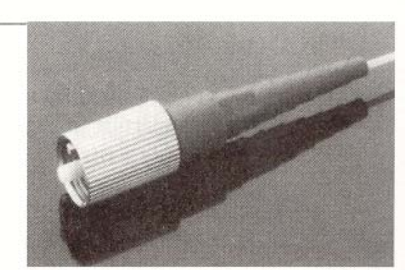
■ **Biconic Connector**

- Rugged Prevex hardware
- Conical ferrule design
- High precision, tapered ends
- Special tip length gauges provide low insertion loss
- Meets TIA 604.1 Fiber Optic Connector Intermateability Standard (FOCIS-1)



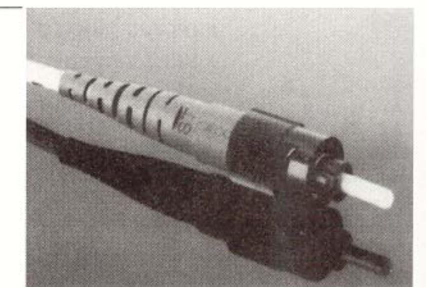
■ **D4 Connector**

- Cylindrical metal coupling nut with keyed sleeves
- 2.0 mm ceramic ferrule
- Pull-proof ferrule for durability
- For long-haul and local network applications
- Manufactured to Japan Industrial Standard (JIS) C 5971 specifications
- Ultra PC polish available



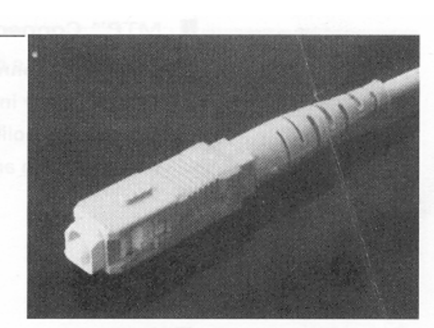
■ **ST® Compatible Connector**

- Twist-lock bayonet coupling
- 2.5 mm keyed ferrule assembly meets durability and repeatability requirements
- For long-haul and local network applications
- Ultra PC polish available



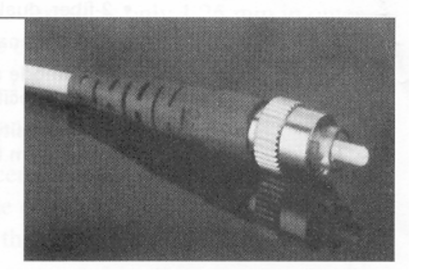
■ **SC Connector**

- Square, push-pull latching mechanism
- Keyed, molded housing provides optimum protection
- 2.5 mm ferrule, pull-proof design
- Available as a duplex connector (568SC) compliant to requirements of TIA/EIA-568A and Fibre Channel standard
- Manufactured to Japan Industrial Standard (JIS) C 5973 specifications
- Composite ferrule available for multimode
- Ultra PC and Angled PC polish available



■ **FC Connector**

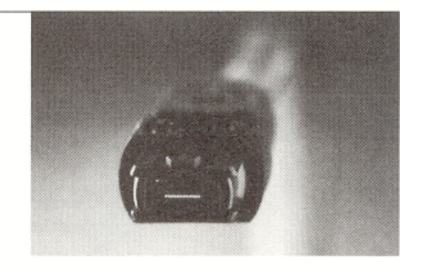
- Cylindrical metal coupling nut with keyed sleeves
- 2.5 mm ceramic ferrule
- Pull-proof ferrule for durability
- For long-haul and local network applications
- Manufactured to Japan Industrial Standard (JIS) C 5970 specifications
- Ultra PC and Angled PC polish available



الشكل (٥- ٧) أنواع مختلفة للوصلات المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية مع مواصفاتها

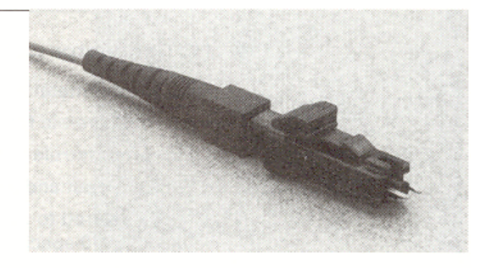
■ **MTP™ Connector**

- Multifiber connector (4, 6, 8, 12)
- High-density interconnect and OEM applications
- Angled PC polish available
- Single-mode and multimode designs



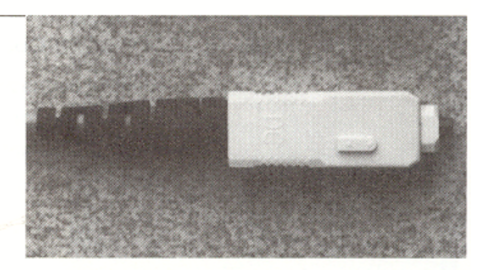
■ **MT-RJ Connector**

- 2-fiber, dual connect, single ferrule design
- RJ-style snag-free latch
- Multimode and single-mode performance to TIA specifications
- High density interconnect compatible with MT-RJ small form factor transceivers



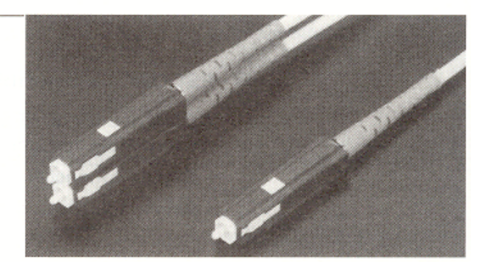
■ **SC-DC™ Connector**

- 2-fiber, dual connect, single ferrule design
- 2.5 mm composite ferrule
- Familiar SC housing with push-pull mating mechanism
- Multimode and single-mode performance to TIA specifications



■ **MU Connector**

- Square, push-pull mating mechanism
- 1.25 mm ferrule, pull-proof design
- Reduced footprint
- High-density interconnect and OEM applications



تابع الشكل (٥- ٧) أنواع مختلفة للوصلات المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية مع مواصفاتها

٥- ٣ الروابط Couplers

تعتبر الروابط مكونات خاملة (Passive Components) حيث انها لا تحتاج إلى الطاقة لأداء عملها. وهي تقوم بتجميع (Combine) الإشارات من اثنين أو أكثر من الخطوط الداخلة أو توزيع (Split) الإشارات من خط واحد إلى اثنين أو أكثر من الخطوط الداخلة. لذلك فإن استخدامها الرئيسي في شبكات اتصالات الألياف البصرية، ويظهر الشكل (٥- ٨) مجموعة من أنواع الروابط والموزّعات التي تستخدم في أنظمة الاتصالات البصرية.

Input
Out
Out
T Coupler

One Input
Many Outputs
1 × n, or
Tree, Coupler

Many Inputs
Many Outputs
Star
Couplers
(Two Types)
Many Inputs and
Outputs (Not
Separated)

$\lambda_1, \lambda_2, \ldots$
λ_1
λ_2
λ_3
λ_4
λ_5
λ_6
Wavelength-
Selective
Coupler

الشكل (٥- ٨) بعض أنواع الروابط والموزّعات

في كل أنواع الروابط يتم تجميع أو توزيع القدرة من أو على الفروع المختلفة، ولذلك فكلما زاد عدد الفروع في حالة التوزيع كلما نقص نصيب كل فرع من القدرة. ولتوضيح ذلك نقدم في الجدول (٥- ١) كيفية تغيّر نسبة توزيع القدرة مع زيادة عدد الفروع (المخارج) والفقد المرافق في كل حالة علماً بأن نسبة التوزيع بالتساوي:

جدول (٥- ١) نسبة توزيع القدرة على الفروع والفقد المرافق

Number of Output Ports عدد الفروع (المخارج)	Fraction of Output Power in each Output نسبة القدرة في كل فرع	Loss in dB الفقد المرافق
2	0.5	3
4	0.25	6
5	0.2	6.99
8	0.125	9
10	0.1	10
15	0.067	11.76
20	0.05	13
50	0.02	16.99
100	0.01	20
400	0.0025	26
1000	0.001	30

كيفية حساب القيم التي بالجدول (٥- ١):

- Fraction of Output Power in each Output = 1 / Number of Output Ports

- Loss in dB = 10 Log (Number of Output Ports)

٥- ٣- ١ الفقد الإضافي Excess Loss

يعرّف الفقد الإضافي للمجمّعات بأنه الفرق بين القدرة على المدخل و مجموع القدرة على جميع المخارج. بوحدة الديسبل يمكننا حساب الفقد الإضافي على الشكل التالي:

$$Exess\,Loss_{[dB]} = -10\,Log\left(\frac{P_1 + P_2 + ...+ P_n}{P_{in}}\right) \qquad (5.1)$$

٥- ٣- ٢ خصائص الروابط Coupler Characteristics

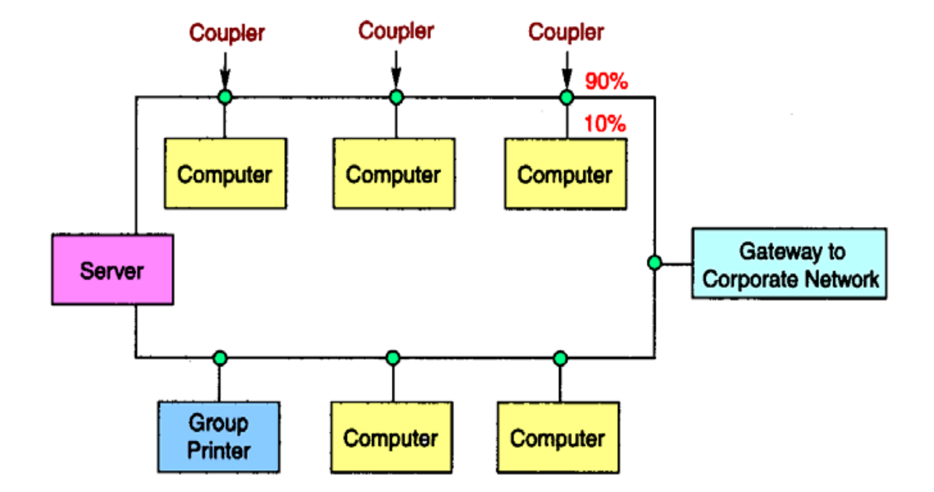
هنالك مجموعة من الخصائص التي تحدد عمل وأداء الروابط أهمها:

- اتجاهية إرسال الضوء (Directionality of Light Transmission)
- عدد المداخل والمخارج (Number of Inputs and Outputs)
- انتقائية الطول الموجي (Wavelength Selectivity)
- نوع الإرسال: أحادي أو متعدد النمط (Type of Transmission: Single or Multimode)
- توهين الإشارة (Signal Attenuation)
- معدّل التوزيع (Signal Splitting)
- الفقد المرتبط بحالة الاستقطاب (Polarization Dependent Loss)

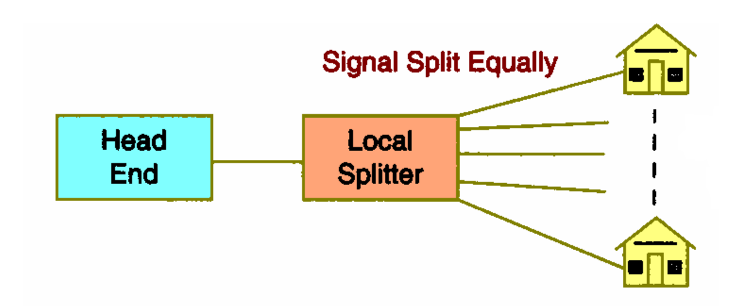
٥- ٣- ٣ تطبيقات الروابط Coupler Applications

لقد تم استخدام الروابط في مجالات متعددة (انظر الشكل "٥- ٩")، أهمها:

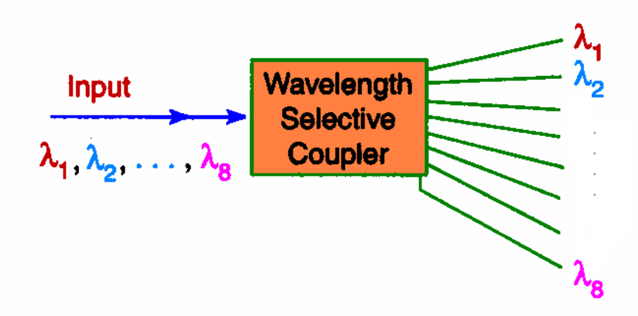
- شبكات الاتصالات المحلية (Local Area Networks- LAN).
- البث التلفزيوني عبر الكيبل (Cable Television Distribution - CTVD).
- تجميع القنوات باستخدام التقسيم الموجي (Wavelength Division Multiplexing - WDM).



a. Local-Area Network شبكة الاتصالات المحلية.



البث التلفزيوني عبر الكيبل b. Cable Television



c. Wavelength-Division Demultiplexing

تجميع القنوات باستخدام التقسيم الموجي

شكل (٥- ٩) التطبيقات المختلفة للروابط

تدريبات على الوحدة الخامسة

تمرين ١ : أكمل الجدول التالي:

Number of Output Ports عدد الفروع (المخارج)	Fraction of Output Power in each Output نسبة القدرة في كل فرع	Loss in dB الفقد المرافق
6		
12		
22		
30		
64		
128		
200		
256		
1000		
2000		
5000		

تمرين ٢ : وضّح طريقة التخلّص من انعكاس فرسنل؟

تمرين ٣ : وضّح الخصائص الرئيسة للمجمّعات؟

تمرين ٤ : أيهما أسوأ عدم المحاذاة الجانبية أم الزاويّة لليف الأحادي النمط؟

خطوط النقل والألياف البصرية

تركيبات الألياف البصرية واللحام

الوحدة السادسة : تركيبات الألياف البصرية واللحام

الجدارة: هي القدرة على التعرف على طرق وآلية تركيب كيبلات الألياف البصرية وطرق إجراء اللحام لها.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المتدرب القدرة على أن:

- يعرف طريقة تركيب وتمديد كيبلات الألياف البصرية الخارجية.
- يعرف طريقة تركيب وتمديد كيبلات الألياف البصرية الداخلية.
- يدرس أنواع اللحام المستخدم لتوصيل الألياف البصرية.
- يتعرف على طريقة إجراء اللحام.
- يتعرف على خطوات القيام بعملية اللحام الكهربائي.
- يتعرف على عملية ربط الموصل على طرف الليف (Fiber Termination).

مستوى الاداء المطلوب: أن يصل المتدرب على إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ٤ ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج "Power Point" لعرض محاضرات تركيبات الألياف البصرية واللحام.

متطلبات الجدارة:- أن يكون المتدرب ملماً بمحتوى الوحدة الخامسة.

تركيبات الألياف البصرية واللحام

Fiber Optic Installation and Splicing

مقدمة

كما أشرنا في الوحدة الرابعة فإن الكيبلات البصرية تتواجد بنوعين: الخارجية والداخلية حيث يختلف النوعان في التصميم ونوعية المواد الداخلة في التصنيع. إن أهم ما يميز الكيبلات الخارجية أن تكون متينة،قوية وذات درجة تحمّل عالية للظروف الجوية أو أي تأثيرات خارجية أخرى، بينما تتميز الكيبلات الداخلية بدرجة عالية من المرونة مما يسهل عملية تمديدها وتوصيلها داخل المباني والمنشآت وليس بالضرورة أن تكون قوية وصلبة. وكل نوع من أنواع الكيبلات يتطلب طرقاً وتقنيات مختلفة للقيام بالتركيبات. وتبعا لما تم توضيحه في الوحدة الخامسة فإن عملية اللحام تعتبر التقنية الأساسية لربط وتوصيل الألياف البصرية معا حيث نحصل على توصيل دائم وبفقد قليل نسبياً.

٦- ١ تركيبات الألياف البصرية Fiber Optic Installation

إن المقصود بتركيبات الألياف البصرية هو عملية تجهيز الكيبل ووضعه في مكانه المخصص بحيث يكون جاهزاً للاستخدام وإرسال المعلومات خلاله، وتتطلب عملية تركيب وبناء شبكات الاتصالات باستخدام الألياف البصرية إجراء الخطوات التالية:

- وضع الكيبل في مكانه المخصص.
- فحص جميع الخطوط (الألياف) داخل الكيبل بعد التركيب والتأكد من جاهزيتها.
- إجراء عملية اللحام.
- تحضير وتجهيز الكيبل للتوصيل مع جهاز الإرسال والاستقبال.

هنالك نوعان من التركيبات تبعا لنوع الكيبلات البصرية فالتركيبات الخارجية (Outdoor) تختص بالكيبلات الخارجية، والتركيبات الداخلية تختص بالكيبلات الداخلية (Indoor). وسوف ندرس طرق كلٌ منها بالتفصيل في الجزء التالي

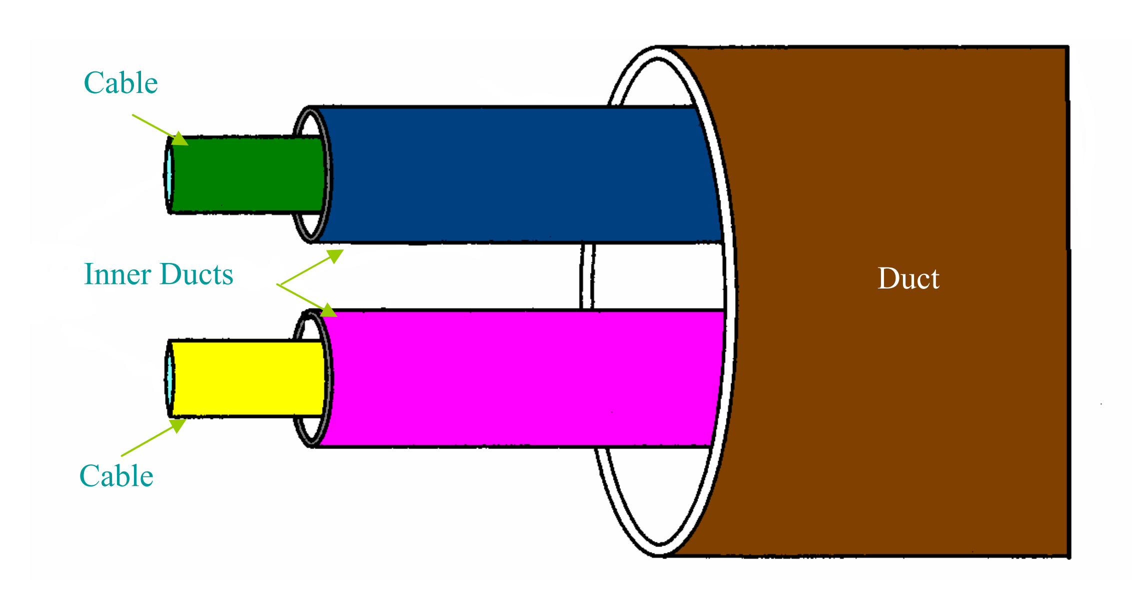
٦- ١- ١ التركيبات الخارجية للكيبل البصري Outdoor Fiber Optic Cable Installation

هنالك نوعان من التركيبات الخارجية تبعا لمكان تمديد الكيبل هما التركيبات تحت الأرض (Underground Installation) والتركيبات الهوائية (Aerial Installation) وهما الأكثر انتشاراً.

أ- تركيبات الكيبل المدفون تحت الأرض Underground Buried Cable Installation

يمكننا دفن الكيبل البصري مباشرة تحت الأرض أو وضعه داخل مجرى خاص (Duct) يكون مدفوناً تحت الأرض. تعتبر طريقة الدفن المباشر للكيبل هي الأنسب للمسافات الطويلة جداً عبر الدولة أو بين الدول. ويلزم لمثل هذه التركيبات استخدام كيبلات ذات متانة عالية تحوي طبقة حماية معدنية واحدة على الأقل (Steel Armored Cables).

إن عملية وضع وتمديد الكيبل داخل المجرى الخاص (الشكل ٦- ١) تعطيه حماية ووقاية إضافية من الظروف المحيطة، كذلك تسمح هذه الطريقة بإمكانية سحب الكيبل أو إضافة كيبلات جديدة دون الحاجة لإعادة الحفر. إن هذه الطريقة هي الأنسب في المناطق السكنية وتحت الشوارع المعبّدة. عادة ما تصنع المجاري المخصصة لتركيبات الكيبل البصري من البلاستيك المقوّى أو (PVC)، حيث يكون هنالك مجرى رئيس وقد يحوي داخله مجارٍ داخلية (Inner Ducts).



الشكل (٦- ١) المجرى الرئيس والمجاري الداخلية

عند اختيار المجرى لوضع الكيبل داخله يجب مراعاة الشرط التالي:

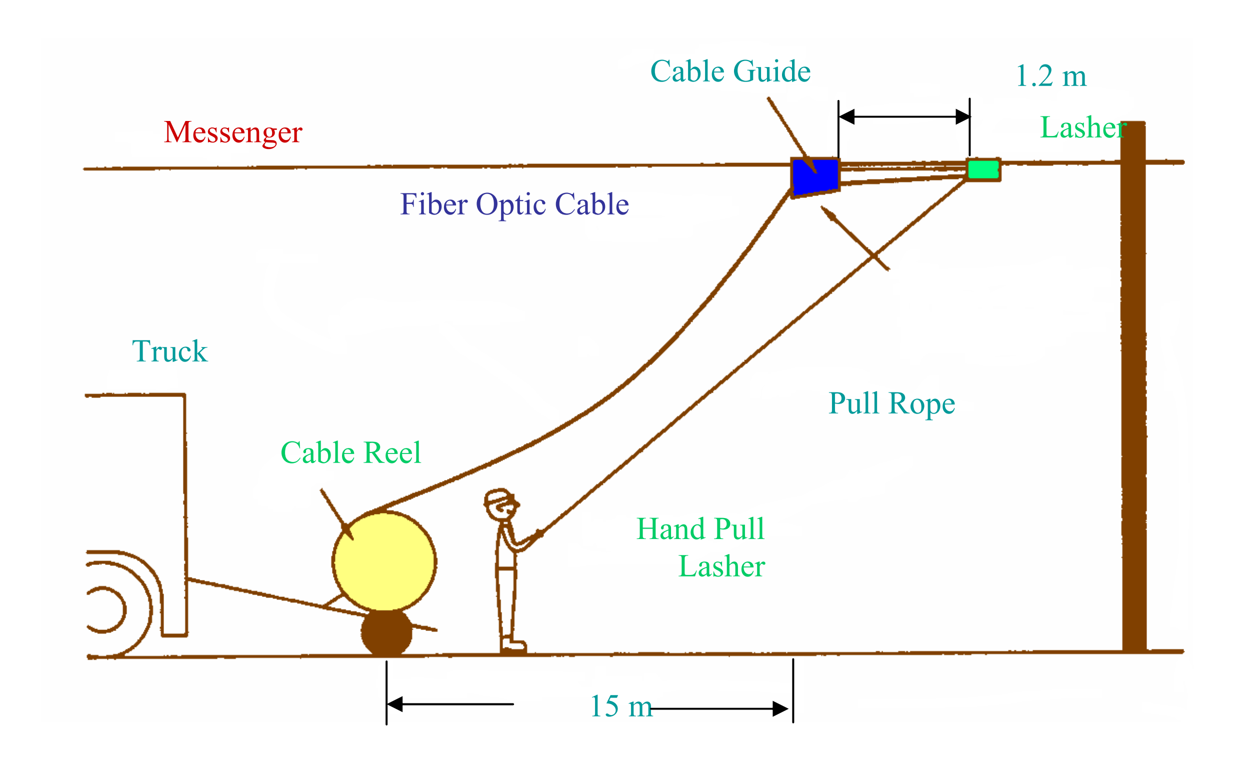
$$d / D < 50\% \qquad (6.1)$$

حيث - d ترمز إلى قطر الكيبل.

- D ترمز إلى قطر المجرى.

ب- **التركيبات الهوائية** Aerial Installation

عادة ما يتم القيام بالتركيبات الهوائية من خلال تثبيت الكيبل البصري المراد تركيبه مع حامل معدني يسمى (Steel Holder) والذي يكون مثبتاً بشكل قوي أو باستخدام الكيبلات الهوائية ذات التثبيت الذاتي (Self Supporting Fiber Optic Cable) مثل الكيبل ذو الشكل (8). يجب التأكيد على ضرورة أن يكون الكيبل الهوائي ذا درجة تحمّل عالية للأحوال الجوية والإشعاعات المختلفة لكونه يتعرض بشكل مباشر لتلك التأثيرات، وعادة ما يتم استخدم تقنيات وطرق خاصة للقيام بإجراء التركيبات الهوائية أحدها المبين في الشكل(٦- ٢).



الشكل (٦- ٢) عملية التركيبات الهوائية

- **ملاحظة حول سحب الكيبل** (Pulling the Cable)

عند سحب الكيبل أثناء عملية التركيبات يجب مراعاة أن يتم سحب الكيبل من خلال عنصر التقوية فقط لأنه أكثر أجزاء الكيبل متانة وتحمّلاً ولا يجوز السحب من أي جزء آخر، وفي نفس الوقت يجب الانتباه إلى جهاز مراقبة الشّد وهو ما يعرف بالديناموميتر (Dynamometer) وذلك لكي لا يتم تجاوز القيمة المسموح بها لشد الكيبل والتي تُعطى ضمن المواصفات الفنية له.

٦- ١- ٢ التركيبات الداخلية لكيبلات الألياف البصرية

Indoor Fiber Optic Cable Installation

هنالك أكثر من طريقة لتركيب الكيبلات البصرية داخل المباني، إما بشكل مباشر (Directly) أو باستخدام الأنابيب البلاستيكية حيث يتم تمرير الكيبل من خلالها، أو باستخدام مسالك (ممرات) خاصة تمر من خلالها الكيبلات (Cable Trays)، حيث يتوجب التخطيط المسبق في مرحلة إعداد مخططات البناء لتحديد مسارات الكيبلات الداخلية. وفي حالة التمديدات المباشرة يجب استخدام كيبلات ذات درع معدني مقاومة للحريق ولتجنب حصول تمديدات لمسافة طويلة داخل المباني وخاصة بالقرب من الزوايا يجب وضع صناديق خاصة (Pull Boxes) لتسهيل عملية سحب الكيبل. وفي حالة الحاجة للتمديدات العمودية (Vertical Installation) يجب استخدام أدوات خاصة (Cable Risers) لرفع الكيبل عمودياً.

في كل الحالات السابقة تجب مراعاة مطابقة المواصفات والمقاييس المعتمدة في البلد المعني (مثل مواصفات التمديدات الكهربائية، ومواصفات البناء المحلية).

- **إجراءات تركيب الكيبل** Cable Installation Procedure

عادة ما يتم سحب وتمديد الكيبل داخل المباني بشكل يدوي، لكن وفي بعض الحالات الصعبة يمكننا الاستعانة بمواد خاصة تساعد في سهولة انزلاق الكيبل(Lubricant). قبل البدء تجب مراعاة شروط السلامة العامة واتباع الخطوات التالية:

١) تحديد وفتح جميع صناديق السحب، الأنابيب، وممرات الكيبلات والتأكد من صلاحيتها ومطابقتها للمواصفات والمقاييس.

٢) يجب تركيب شريط السحب (Pull Tape) داخل الأنبوب أو ممرات الكيبل.

٣) قبل البدء في تركيب الكيبل، يجب فحص جميع خطوط الكيبل والتأكد من صلاحيتها.

٤) يتم إيصال طرف السحب (Pulling Eye) ووصلة الربط (Swivel) مع الكيبل (مع عنصر التقوية تحديداً) تمهيداً لعملية السحب، مع التأكد من عدم وجود أي عائق للحركة.

٥) يتم ربط و توصيل شريط السحب مع وصلة الربط (Swivel).

٦) يتم سحب الكيبل يدوياً خلال أول مقطع ولغاية أول صندوق سحب مع مراعاة عدم تجاوز نصف قطر الانحناء المسموح به.

٧) يتم لف الكيبل على الأرض وبشكل رقم (8) لمنع حصول انجدال أو التواء.

٨) يجب إعادة الكيبل إلى صندوق السحب وسحبه من جديد باتجاه صندوق السحب الثاني وهكذا حتى إكمال العمل المطلوب.

٩) يجب إبقاء طول معين (حوالي 6 أمتار) فائضاً احتياطياً من الكيبل عند كل طرف ولفه بطريقة لا تأخذ حيزاً كبيراً.

١٠) أخيراً، يجب فحص جميع الخطوط (الألياف) في الكيبل بعد التركيب للتأكد من صلاحيتها.وعدم حصول أي خلل خلال عملية التركيبات.

- **نصائح وإرشادات** Installation Recommendations

حتى نضمن أن تتم التركيبات بالشكل الصحيح يجب دائماً التقيد بالتوصيات التالية:

- التخطيط المسبق يوفر الجهد والتكاليف.
- إجراء دراسة أولية للمسارات التي سوف يتبعها الكيبل.
- الاحتفاظ بجميع الأوراق والوثائق المتعلقة بالمشروع.
- يجب سحب الكيبل من خلال عنصر التقوية فقط.
- يجب باستمرار مراقبة القوة التي يتعرض لها الكيبل أثناء السحب.
- يجب الإبقاء على الاتصال الثنائي بين الطرفين المشاركين في التركيبات.
- يجب الإبقاء على ألياف ومجارٍ داخلية احتياطية.

- يجب فحص كل كيبل قبل وبعد التركيبات.

- لا يجوز بتاتاً:

- السحب مباشرة من خلال الليف (لأن ذلك سوف يؤدي إلى قطعه).
- السماح بحصول لفات حادة، أو ثني حاد أو عُقد.
- تجاوز قيمة الشّد القصوى المسموح بها.
- تجاوز نصف قطر الانحناء المسموح به.
- تجاوز أعلى ارتفاع مسموح به.

٦- ٢ لحام الألياف البصرية Fiber Splicing

تعتبر عملية اللحام التقنية الأساسية لربط وتوصيل الألياف البصرية معاً، حيث نحصل على توصيل دائم وبفقد قليل نسبياً. عادة ما يلزمنا اللحام في الحالتين التاليتين:

- في حالة توصيل كيبل مع آخر للحصول على الطول المطلوب وتسمى (Midspan).

- في حالة لحام وصلة مصنعية جاهزة (Pigtail Assembly) مثبّت على طرفها وصلة جاهزة من المصنع مع الليف المعني.

وهنالك أكثر من نوع من اللحام منها: اللحام الكهربائي (Fusion Splicing) وذلك باستخدام أجهزة لحام خاصة للألياف البصرية، اللحام الميكانيكي (Mechanical Splicing) وذلك باستخدام قطع وأدوات تصمم خصيصاً لذلك، لكن أكثر الأنواع انتشاراً هو اللحام الكهربائي. مع ملاحظة إمكانية إستخدام اللحام الكيميائي (Chemical Splicing) في حالة الالياف البلاستيكية (POF).

وهنالك العديد من الملحوظات التي يجب الانتباه لها عند القيام بعملية اللحام وهي:

ملحوظة ١: في حالة الكيبلات ذات العدد القليل من الألياف، يفضل استخدام الوصلات بدلاً من اللحام.

ملحوظة ٢ : عمليات اللحام للكيبلات الخارجية عادة ما تتم داخل عربة خاصة مجهزة (Splice Van) وذلك لحماية الألياف والأجهزة من الظروف المحيطة.

ملحوظة ٣ : خلال عملية التركيبات، يجب إبقاء طول إضافي للتمكن من إيصال الكيبل المراد إجراء اللحام له إلى العربة (Van) الخاصة بذلك.

ملحوظة ٤ : يجب إجراء عملية اللحام على طاولة كبيرة، ونظيفة، مع توفّر مساحة كافية للكيبل والأجهزة المستخدمة.

ملحوظة ٥ : يتكون فريق العمل لإجراء عملية اللحام من فنيين اثنين: أحدهما يقوم بعملية اللحام والآخر يقوم بالقياسات اللازمة.

٦- ٢- ١ إجراءات اللحام Splicing Procedure

للقيام بعملية لحام الليف البصري يلزم اتخاذ الخطوات التالية وبالترتيب:

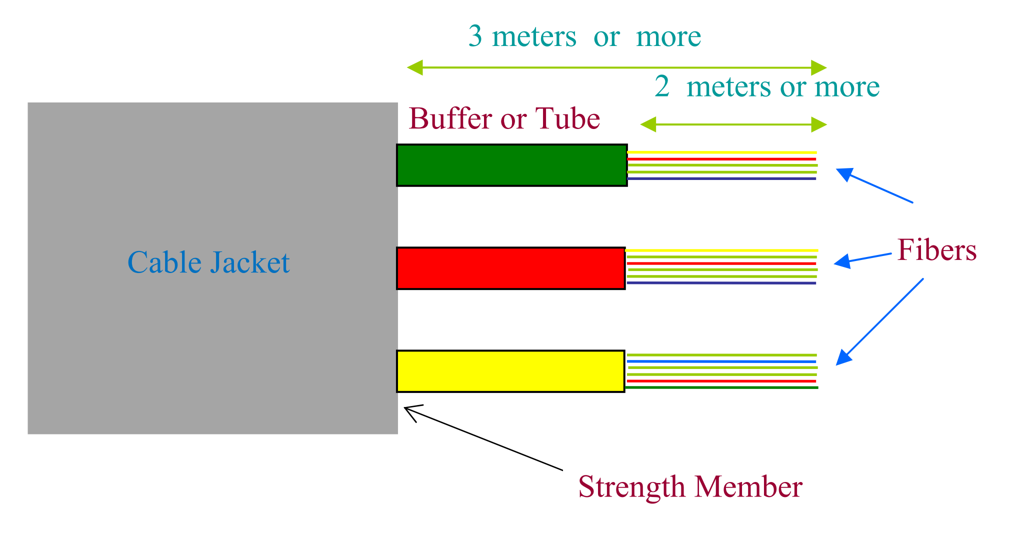
١. تحديد جميع الألياف المراد لحامها.

٢. إزالة (تعرية) الغلاف الخارجي للكيبل (حوالي 3 متر) للكشف عن الألياف المغطاة أو الأنابيب التي تحوي الألياف (انظر الشكل ٦- ٣).

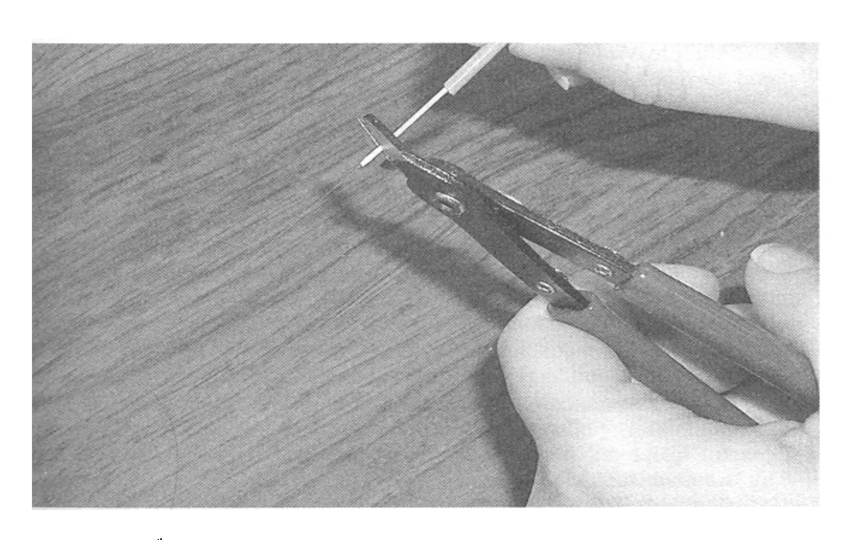
٣. في حالة الكيبل ذي الأنبوب الواقي، يجب إزالة 2 متر من الأنبوب الواقي للكشف عن الألياف التي بداخله (انظر الشكل ٦- ٤).

٤. بدقة وحذر يتم تنظيف جميع الألياف التي بداخل الأنبوب من الجل إن وُجد.

٥. يتم تأمين طرف الأنبوب الواقي إلى وعاء اللحام ثم توضع الألياف المنفردة عن بعضها البعض على طاولة اللحام. وبنفس الطريقة تتم إزالة وتنظيف جميع الأنابيب الأخرى الموجودة في الكيبل.



الشكل (٦- ٣) إزالة الغلاف والقياسات المصاحبة

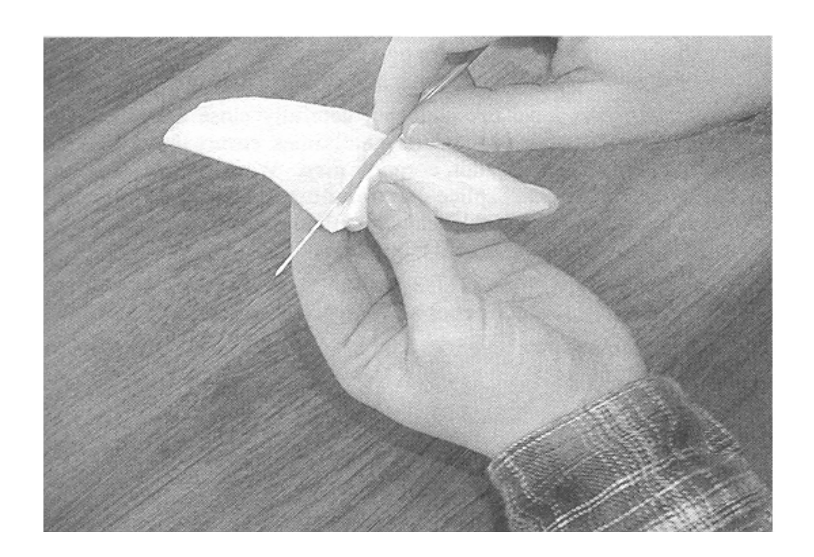


الشكل (٦- ٤) طريقة إزالة الطبقات التي تغلّف الليف

٦. تحديد الليف المراد إجراء عملية اللحام عليه، والبدء في إزالة الغلاف الأولي المحيط به (Coating) بطول 5 سنتمترات وذلك باستخدام الأداة المخصصة لذلك. في حالة كون الليف محمياً بطبقة غلاف أخرى (Buffer) تجب إزالتها وبطول (5) سنتمترات أيضاً.

٧. يتم بحذر شديد القيام بتنظيف الليف المعرّى (الشكل ٦- ٥)، وبعد التنظيف لا يجوز الإمساك بالليف المعرّى أو لمسه (يتم التنظيف بحركة أفقية وباتجاه واحد).

٨. التحضير لعملية صقل الليف باستخدام الأدوات اللازمة لذلك.



الشكل (٦- ٥) عملية تنظيف الليف

٩. باستخدام أدوات صقل الليف تتم معالجة طرف الليف للحصول على واجهة مستوية دون ميلان أو خدوش للتقليل من فقد الضوء.

١٠. بنفس الطريقة الموضحة أعلاه، يتم عمل الخطوات السابقة (تعرية، تنظيف، صقل) بقية الألياف الموجودة.

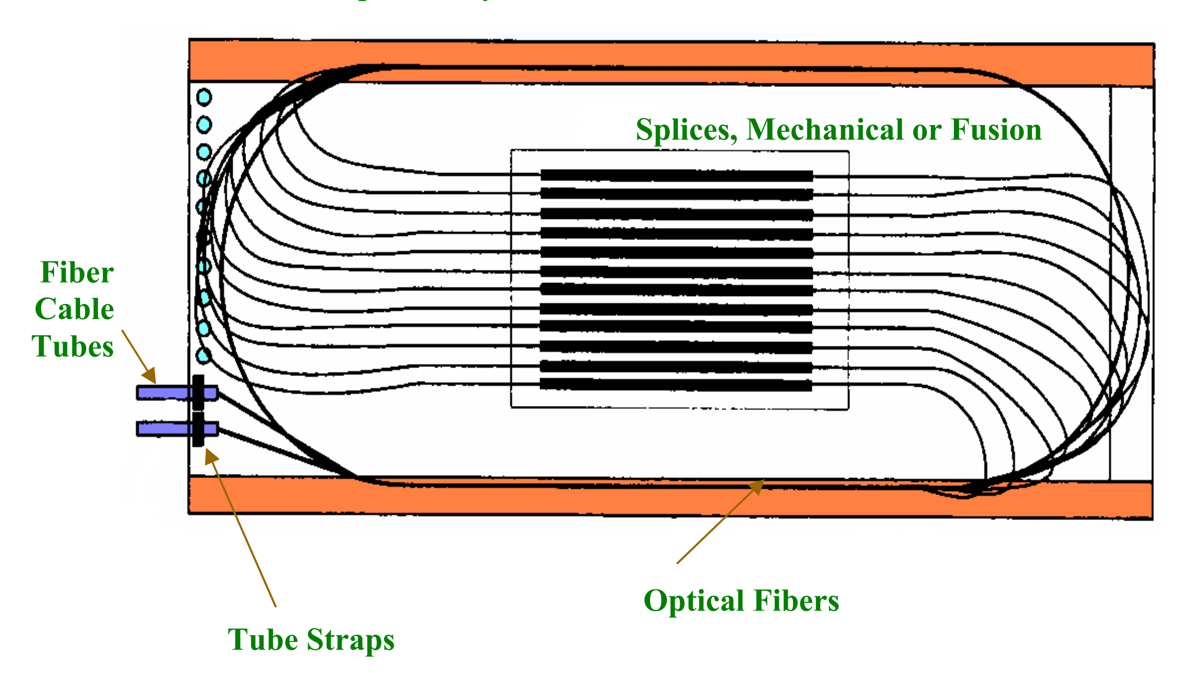
١١. (أ) في حالة اللحام الكهربائي، يجب وضع واقي اللحام على أحد الليفين ثم تستكمل عملية اللحام حيث يثبت الواقي فوق منطقة اللحام لحمايتها.

(ب) في حالة اللحام الميكانيكي، يتم وضع الليف في المكان المخصص له ويتم إكمال عملية اللحام حسب نوع وشكل قطعة اللحام الميكانيكي المستخدمة.

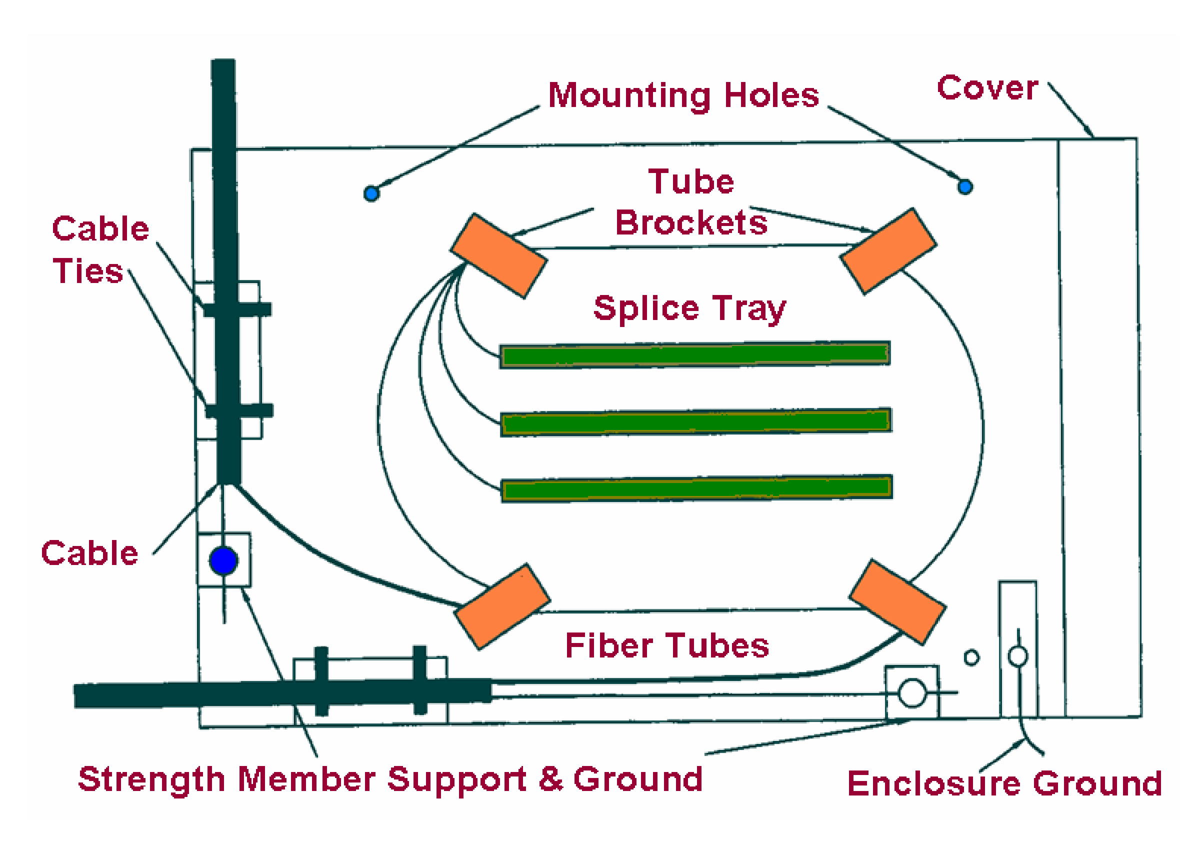
١٢. بعد إنهاء عملية اللحام، يتم وضع الليف الذي تم لحمه في الوعاء الخاص بذلك (Splice Tray) ولف الجزء الزائد من الليف بطريقة بيضاوية ومنتظمة (انظر الشكل ٦- ٦).

١٣. بعد هذه المرحلة يتم فحص الليف باستخدام جهاز قياس القدرة (Power Meter) أو بأستخدام جهاز إختبار الألياف البصرية (OTDR) وذلك للتأكد من سلامة إتمام عملية اللحام.

١٤. بعد إتمام عملية اللحام بنجاح لجميع الألياف يتم إغلاق الوعاء الخاص ووضعه في الخزانة المخصصة لذلك (Splice Enclosure) كما هو موضّح في الشكل (٦- ٧).



الشكل (٦- ٦) الوعاء الخاص لوضع الألياف بعد اللحام



الشكل (٦- ٧) خزانة اللحام مثبتة على الحائط

١٥. يجب إعادة فحص الليف باستخدام جهاز قياس القدرة (Power Meter) أو (OTDR) من الاتجاهين.

١٦. إغلاق وتثبيت خزانة اللحام بعد التأكد من إتمام لحام جميع الألياف وبنجاح.

٦- ٢- ٢ اللحام الكهربائي Fusion Splicing

يتم تنفيذ اللحام الكهربائي باستخدام جهاز اللحام الكهربائي (Fusion Splicer)، انظر الشكل (٦- ٨)، وذلك بوضع أطراف الليفين المراد لحامهما بعد تهيئتهما (End Preparation) بشكل متقابل ومتقارب في المكان المخصص لهما. يقوم الجهاز بعملية معايرة الليفين حيث يمكن متابعة ذلك على الشاشة للحصول على أفضل وضعية تقابل لهما مما يضمن جودة اللحام (بأقل فقد ممكن) بعد ذلك يقوم الجهاز بتوليد إشارة كهربائية عالية المجال ذات درجة حرارة عالية جداً تكفي لصهر زجاج الليفين من الطرفين وبذلك تتم عملية اللحام. وسيتم دراسته بالجزء العملي للمقرر.

تنبيه: من الممكن أن تتسبب الإشارة الكهربائية التي يولدها جهاز اللحام في حصول حريق في حالة وجود غازات أو أية مواد قابلة للاشتعال



الشكل (٦- ٨) جهاز اللحام الكهربائي

تتمتع أجهزة اللحام الحديثة بالكثير من المزايا والإمكانيات أهمها:

- لحام الألياف الأحادية والمتعددة النمط.
- التعامل مع الكيبلات الأحادية والمتعددة الألياف.
- إمكانية مشاهدة ومتابعة عملية اللحام على شاشة الجهاز.
- إمكانية حساب الفقد المصاحب لعملية اللحام.
- تخزين البيانات والمعطيات.
- إمكانية التوصيل مع أجهزة الكمبيوتر الشخصية.

تعتبر هذه الأجهزة مبرمجة حيث تحوي داخلها على معالج (Microprocessor).

٦- ٢- ٣ اللحام الميكانيكي Mechanical Splicing

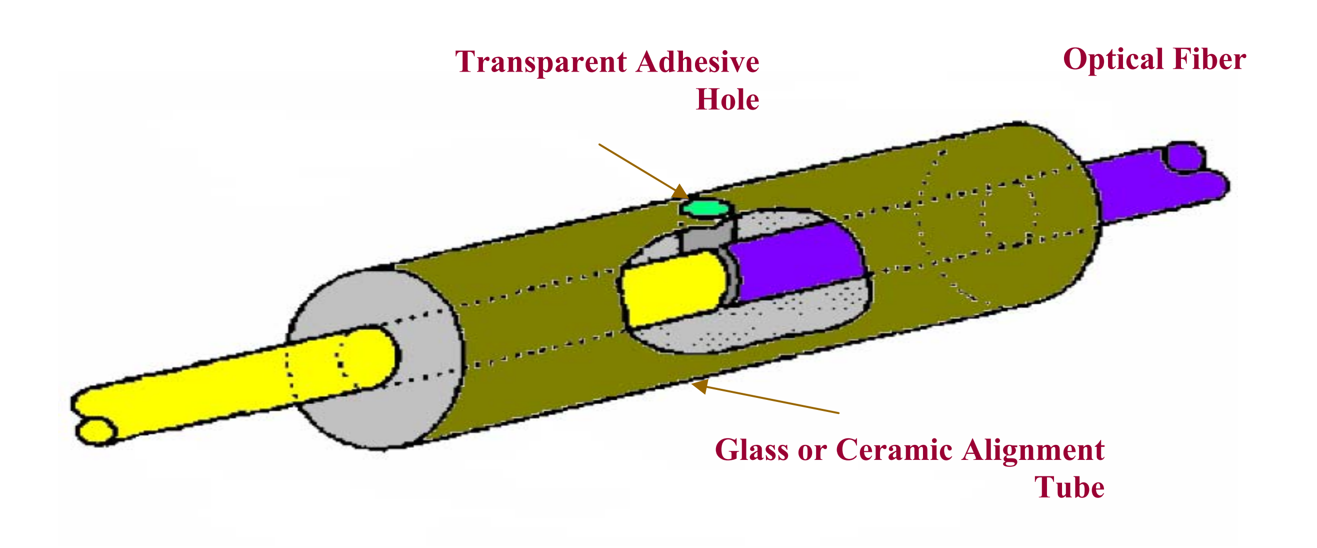
يستخدم اللحام الميكانيكي لربط وتوصيل ليفين بصريين وذلك بتثبيتهما بطريقة تعتمد على نوع وشكل القطع المخصصة لذلك، كما يمكن استخدام أنواع خاصة من اللاصق (Glue) للمساعدة في التثبيت. وسوف نتعرف وباختصار على بعض الأنواع المستخدمة فيما يلي:

أ- اللحام الشعري Capillary Splice

يعتبر هذا النوع من أبسط الأنواع حيث يتم إدخال الليفين بعد تعريتهما من طرفي أنبوب مفرغ من الداخل بقياس رفيع جداً (شعري) (انظر الشكل ٦- ٩) ويوضع اللاصق داخل الأنبوب للمساعدة في التثبيت.

ب- اللحام باستخدام الطوق المتحرك Rotary or Polished Ferrule Splice

بعد تعرية الليف البصري من طبقة الغلاف الأولي (Coating) يتم إدخال كل ليف بطوق (Ferrule) منفصل عن الآخر يتم يتم صقل وتلميع طرفي الليفين للحصول على واجهة أمامية مصقولة بشكل جيد مما يقلل الفقد عند توصيلهما. ثم يتم توصيل الطوقين مع بعضيهما البعض باستخدام أنبوب أو غلاف مخصص لذلك (انظر الشكل ٦- ١٠).



الشكل (٦- ٩) توصيل الليفين باستخدام اللحام الشعري

Jacket Holds Ferrule

Ferrule

Fiber

Polished Fiber Ends

Ferrule Rotated to Find Min. Loss

Jacket Holds Ferrules Mated Together

الشكل (٦- ١٠) اللحام باستخدام الطوق المتحرك

جـ- اللحام الأخدودي شكل -V   V- Groove Splice

يتكون هذا النوع من اللحام من جزأين: الأول من قطعة علوية من السيلكون أو البلاستيك المقوّى فيها مجارٍ مستقيمة توضع فيها الألياف من الطرفين بشكل منتظم والثاني وهو الجزء العلوي ويكون عادة من البلاستيك حيث يوضع فوق الطبقة السفلية ويضغط بشكل دقيق ومناسب لتثبيت الألياف مقابلة لبعضها البعض الشكل (٦- ١١). في بعض الحالات يمكن الاستعانة بمادة لاصقة للمساعدة في التثبيت. إن الميزة الرئيسة لهذا النوع من اللحام هي إمكانية استخدامه للحام مجموعة من الألياف بشكل جماعي.

وبشكل عام فإن الفقد المرافق لعملية اللحام الميكانيكي تتراوح من 0.1 dB إلى 1 dB وذلك اعتماداً على النوع والدقة في التنفيذ.

Grooved Plate
Fibers with Coating Stripped
Fibers Ribbons Coated Fibers
Grooved Plate Holds Ribbons

الشكل (٦- ١١) اللحام الأخدودي شكل -V

٦- ٣ تثبيت الوصلات Connector's Installation

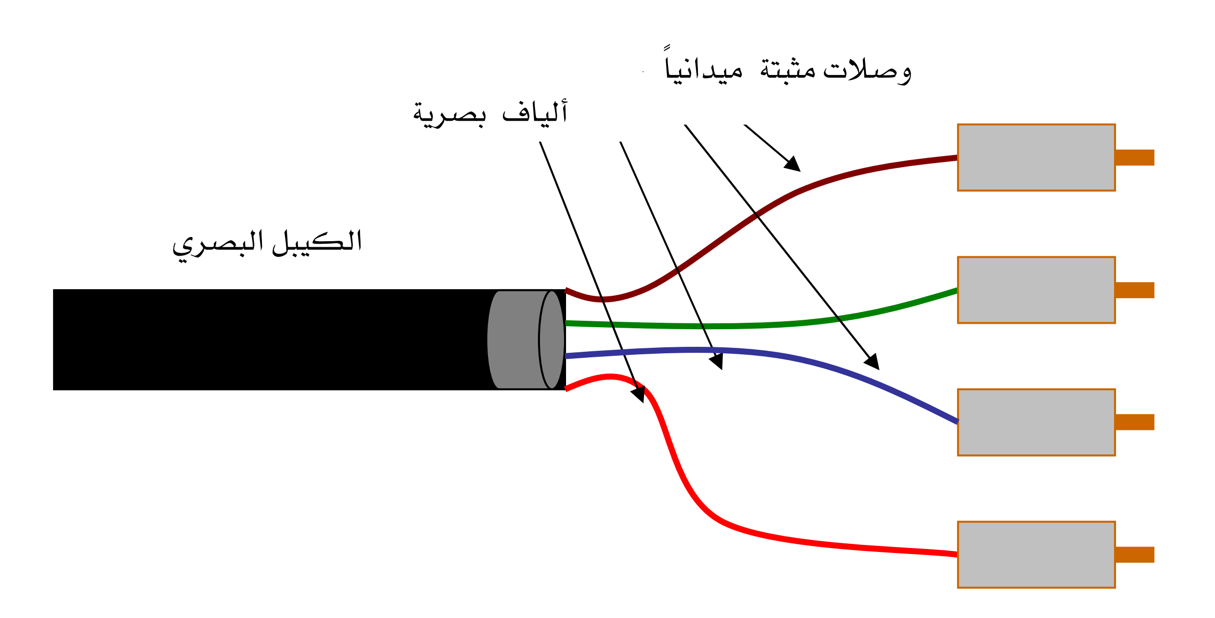
يمكن أن يتم تثبيت الوصلات على طرف ليف بصري مفرد أو تثبيتها على طرف كيبل الألياف البصرية وتبعا لذلك تختلف طرق التثبيت كالأتي:

٦- ٣- ١ تثبيت الوصلات على طرف الليف Optical Fiber Termination

هنالك طريقتان لتثبيت الوصلات على نهاية الليف (Fiber Termination):

أ- طريقة التوصيل الميداني Field-Installable Connector

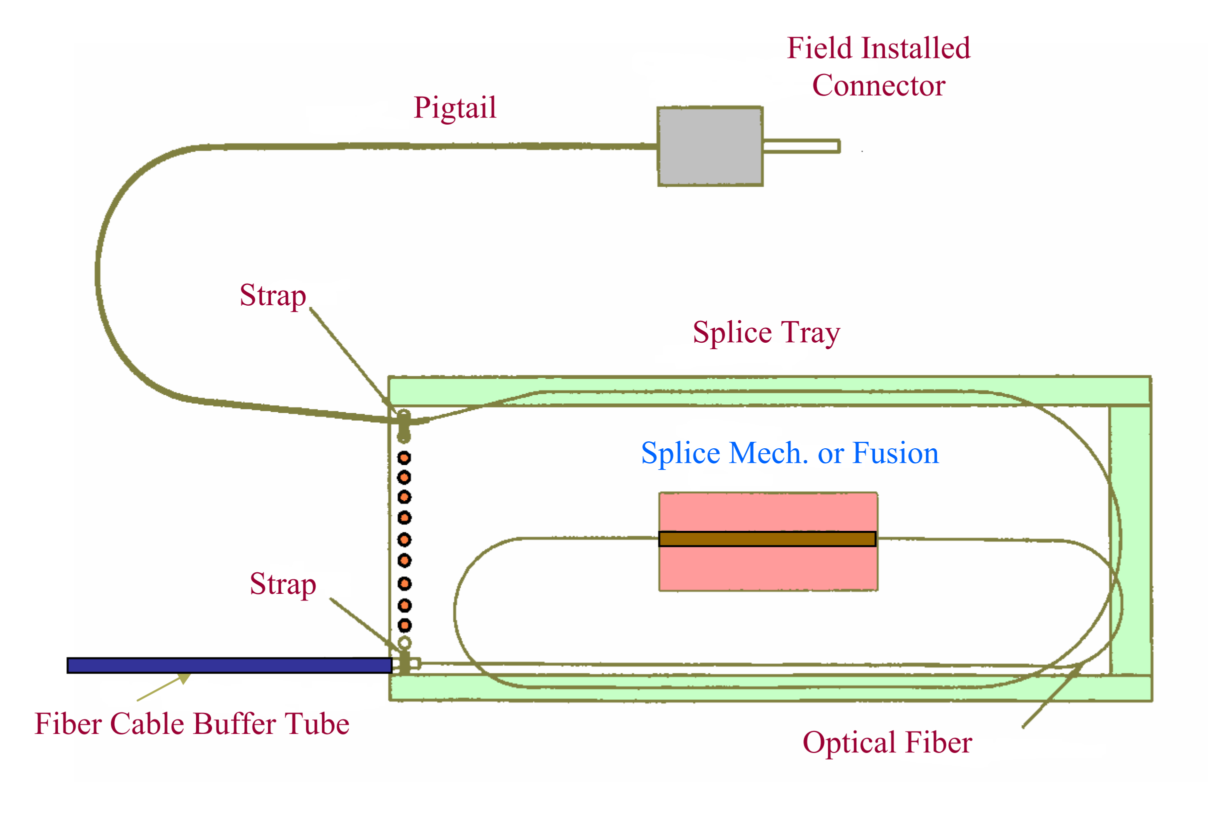
تتم عملية التثبيت بشكل يدوي حيث يجب تهيئة طرف الليف وتحضيره قبل التثبيت بنفس الطريقة المستخدمة في عملية اللحام. تستخدم في هذه الحالة أنواع معينة من الوصلات (انظر الشكل ٦- ١٢) حسب ما يتوافق مع النظام وأجهزة القياس المستخدمة. إن الميزة الرئيسة لهذه الطريقة هو عدم الحاجة إلى اللحام كما هو الحال في الطريقة الثانية، أما السلبية الرئيسة فهي الحاجة لوقت طويل للتنفيذ وعدم ملائمتها لليف أحادي النمط وذلك لصعوبة التنفيذ بسبب صغر قطر اللب.



الشكل (٦- ١٢) طريق التوصيل الميداني بدون لحام

ب ـ طريقة الوصلة المصنعية الجاهزة Pigtail Termination

حيث تكون الوصلة مجهزة مصنعياً على قطعة من الليف بطول يصل إلى المتر الواحد يتم بعد ذلك وصلها إلى الليف الرئيس عن طريق اللحام مما يضمن توصيل بفقد قليل وبوقت قليل. تعتبر هذه الطريقة الأنسب والأسرع في التنفيذ في حالة الليف أحادي النمط (انظر الشكل ٦- ١٣). لكن من سلبيات هذه الطريقة: التكلفة العالية، والحاجة للحام، والحاجة لوعاء وصندوق خاصين لوضع الألياف بعد إتمام عملية اللحام.



الشكل (٦- ١٣) طريقة الوصلة المصنعية الجاهزة

٦- ٣- ٢ تثبيت الوصلات على طرف الكيبل البصري Cable Termination

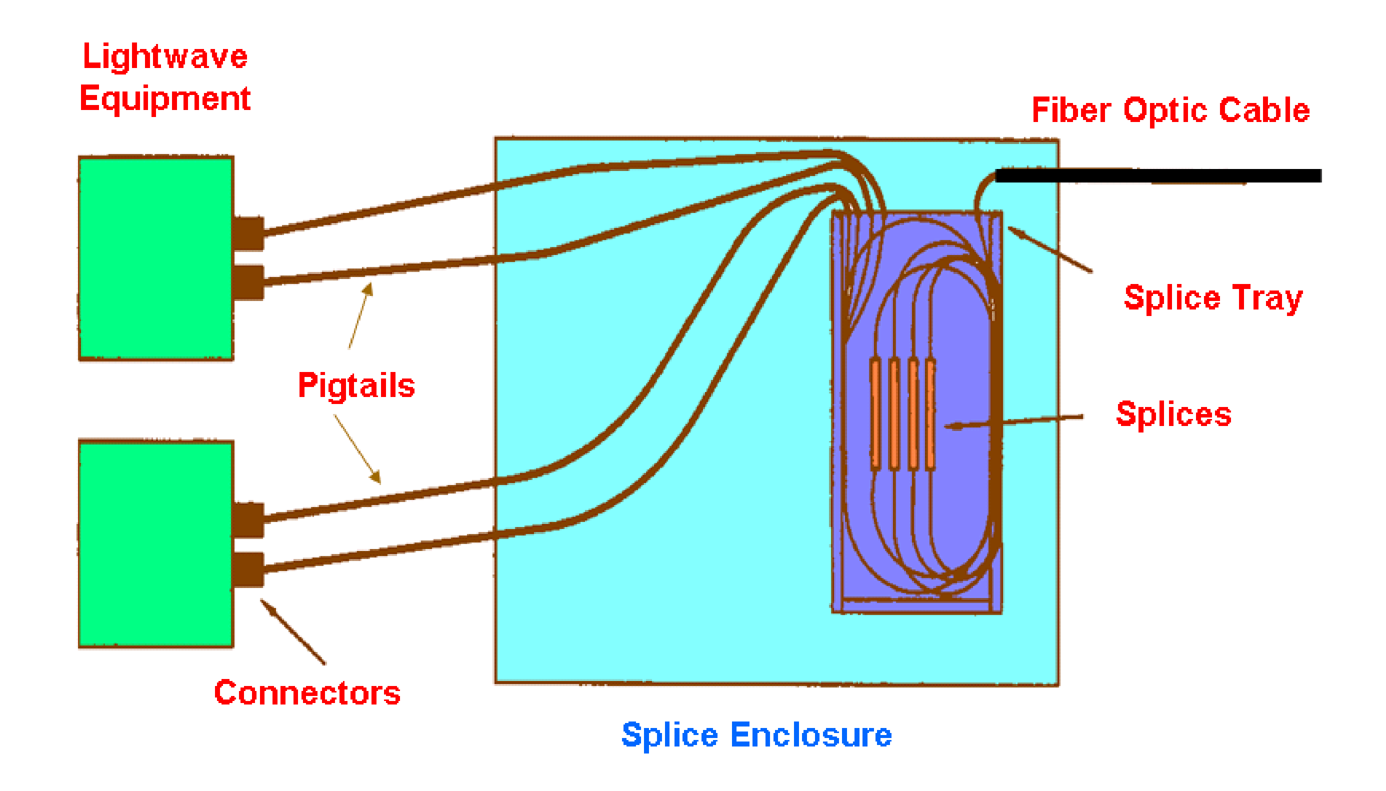
أما في حالة التعامل مع الكيبل البصري، فهنالك ثلاث طرق لتهيئة أطراف الألياف وتثبيت الوصلات عليها (Fiber Optic Cable Termination):

أ- طريقة التثبيت بدون صندوق اللحام Termination Without Enclosure

تعتبر هذه الطريقة الأرخص والأبسط في التنفيذ، حيث يتم تثبيت الوصلة لكل ليف بصري داخل الكيبل (انظر الشكل "٦- ١٢" بالفقرة السابقة). تستخدم هذه الطريقة بشكل رئيس مع الكيبلات الداخلية ذات العدد القليل من الألياف (أقل من ٦).

ب- طريقة التثبيت في صندوق اللحام Termination in a Splice Enclosure

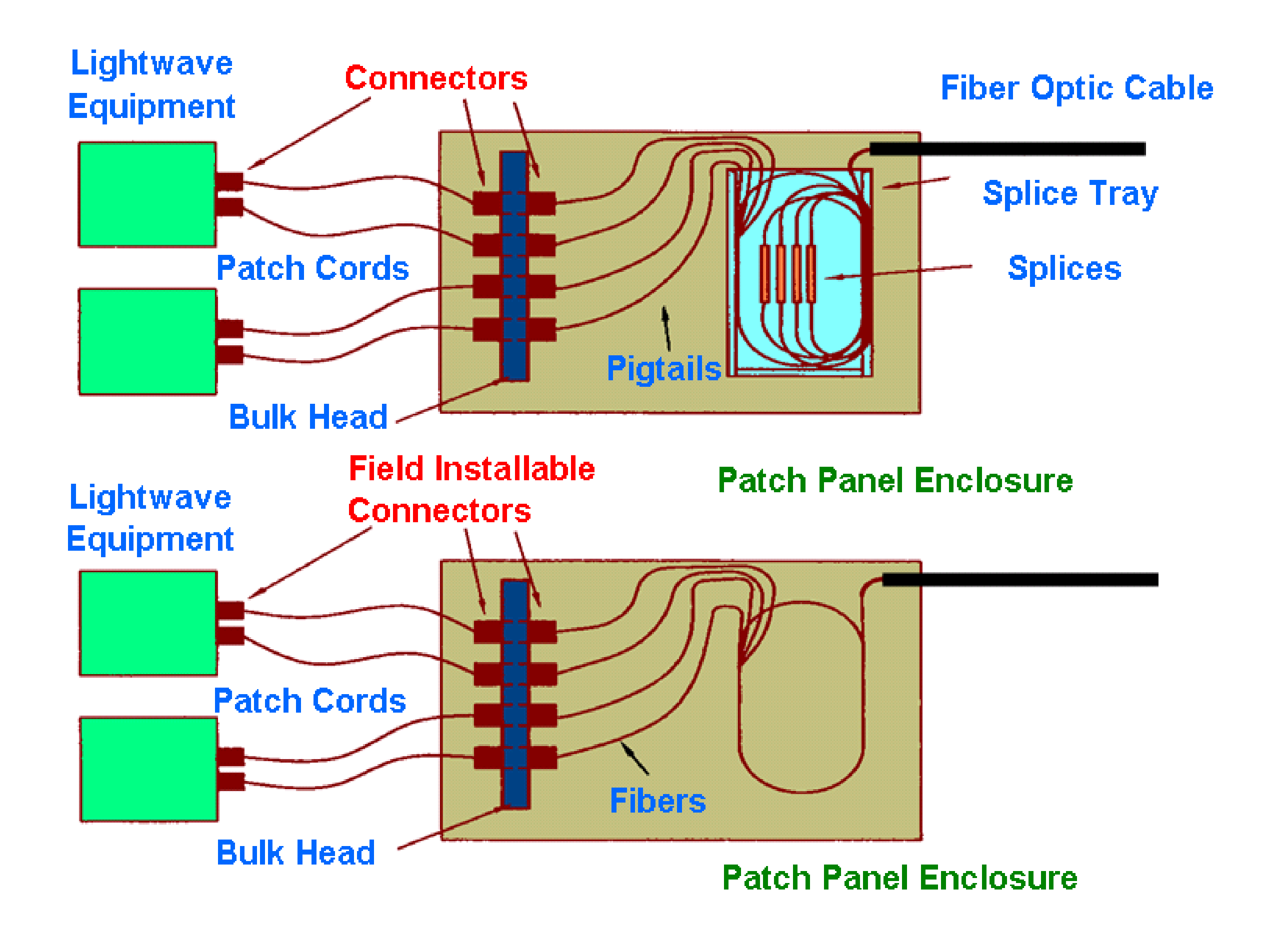
تستخدم هذه الطريقة في الكيبلات ذات الأنبوب الواقي أو الكيبلات ذات الغلاف الواقي الصلب حيث يلزم في هذه الحالة استخدام الوصلات المصنعية الجاهزة (انظر الشكل ٦- ١٤).



الشكل (٦- ١٤) طريقة التثبيت في صندوق اللحام

ج- طريقة التثبيت في لوحات التوزيع Patch Panel Termination

تعتبر هذه الطريقة الأكثر تنظيماً و انتشاراً، حيث تسمح بسهولة وسرعة تحديد الليف المعني والربط معه. ويمكننا تثبيت الوصلات للألياف إما عن طريق الوصلة المصنعية أو طريقة التوصيل الميداني (انظر الشكل ٦- ١٥).



الشكل (٦- ١٥) طريقة التثبيت في لوحات التوزيع

تدريبات على الوحدة السادسة

تمرين ١: اذكر مراحل التركيبات المعتمدة في تصميم وبناء أنظمة الاتصالات البصرية؟

تمرين ٢: اذكر الميزات الإيجابية لتركيب الكيبل بطريقة الدفن وما الشروط الواجب توافرها في الكيبل؟

تمرين ٣: عدد النصائح والإرشادات التي يجب التقيد بها عند إجراء عملية تركيب الكيبل؟

تمرين ٤: عدد أهم الملحوظات السلبية والتي يجب تجنبها عند إجراء عملية تركيب الكيبل؟

تمرين ٥: اشرح خطوات تهيئة نهاية الليف قبل البدء بعملية اللحام؟

تمرين ٦: لديك كيبل بصري من النوع ذي الغلاف الواقي الضيق يحوي عشرة ألياف. اذكر خطوات القيام بلحامه مع كيبل آخر من نفس النوع؟

تمرين ٧: وضّح طريقة اللحام الأخدودي واذكر الميزة الإيجابية له؟

تمرين ٨: عدد الميزات والإمكانيات التي يقوم بها جهاز اللحام الكهربائي؟

تمرين ٩: اذكر السلبيات الأساسية لطريقة الوصلة المصنعية الجاهزة (Pigtail Termination)؟

تمرين ١٠: بالرجوع إلى الإنترنت قم بإعداد بحث عن أنواع اللحام الميكانيكي المستخدم؟

تمرين ١١: بالرجوع إلى الإنترنت قم بإعداد بحث عن المواصفات الفنية لجهاز اللحام الكهربائي؟

تمرين ١٢: لديك كيبل بصري بقطر (20 mm) يراد تمديده داخل أنبوب بلاستيكي مخصص لذلك، أوجد القطر المفترض لهذا الأنبوب؟

خطوط النقل والألياف البصرية

أجهزة توليد واستقبال الإشارات البصرية

الوحدة السابعة : أجهزة توليد واستقبال الإشارات البصرية

الجدارة: هي القدرة على دراسة الأنواع الرئيسة للمصادر والكواشف البصرية والتعرف على خصائصها العملية...

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المتدرب القدرة على أن:

- يعرف الأنواع الرئيسة للمصادر الضوئية.
- يدرس الخصائص الأساسية للمصادر الضوئية.
- يدرس مشكلة توصيل الضوء من المصدر إلى الليف.
- يعرف الأنواع الرئيسة للكواشف البصرية.
- يدرس الخصائص الأساسية للكواشف البصرية.
- يدرس مشكلة توصيل الضوء من الليف إلى الكاشف البصري.

مستوى الاداء المطلوب: أن يصل المتدرب على اتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ٨ ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج "Power Point" لعرض محاضرات أجهزة توليد وإستقبال الإشارات البصرية.

متطلبات الجدارة:- أن يكون المتدرب ملماً بمحتوى الوحدات السابقة ومحتوي مقرر الإلكترونيات.

أجهزة توليد واستقبال الإشارات البصرية

Light Sources and Optical Detectors

مقدمة

إن المعلومات المراد إرسالها سواء في الأنظمة التماثلية أو الرقمية عادة ما تكون ذات طبيعة كهربائية (Electrical Signals) لذلك وحتى نتمكن من إرسالها عبر الليف البصري لا بُد من تحويلها إلى إشارات ضوئية بإستخدام المصادر الضوئية، وبعد وصولها إلى جهاز الاستقبال يتم تحويلها وإرجاعها إلى طبيعتها الكهربائية بإستخدام الكواشف البصرية. نقدم في هذه الوحدة مبدأ عمل وأنواع المصادر والكواشف الضوئية المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية، والتعرف على خصائصها ومواصفاتها العملية.

٧- ١ المصادر الضوئية Light Sources

تتمثل الوظيفة الأساسية للمصدر الضوئي في تحويل الإشارات الكهربائية الداخلة عليه إلى إشارات بصرية حيث يتم إرسالها عبر الليف إلى جهة الاستقبال.

هنالك نوعان رئيسيان من المصادر الضوئية هما الديود الباعث للضوء (Light Emitting Diode) ويعرف اختصارا (LED) وديود الليزر (Laser Diode) ويختصر (LD)، وللتبسيط سوف نسميه فقط ليزر. قبل أن نقوم بدراسة هذين النوعين، نتطرق إلى الشروط والمتطلبات الواجب توفرها في المصدر الضوئي بشكل عام.

- **المتطلبات العامة للمصدر الضوئي** Source Requirements

هنالك عدد من الشروط والمتطلبات الواجب مراعاتها وتوفرها في المصدر الضوئي عند اختياره لتطبيق معين في أنظمة الاتصالات الضوئية:

- أن يكون الطول الموجي المنبعث من المصدر (الذي يعمل عليه) ملائماً للإرسال عبر الألياف البصرية.
- يجب أن تكون القدرة المنبعثة من المصدر عالية بالقدر الكافي (في مجال mW) لاستخدامها في الاتصالات بعيدة المدى.

- يجب أن يكون عرض النطاق الإشعاعي (σ_λ) أقل ما يمكن وذلك لتقليل قيمة تشتيت المادة.
- يجب أن تكون المساحة الإشعاعية (Source Emitting Area) للضوء الخارج من المصدر أقل من مساحة لب الليف (Fiber Core Area)، وذلك لتحسين توصيل الضوء إلى الليف.
- الاستقرارية في قيمة القدرة المنبعثة، والطول الموجي، وعرض النطاق الإشعاعي وعدم تأثرها بدرجة الحرارة.
- يجب أن تكون هنالك إمكانية لتعديل المعلومات (Modulation Ability) ونقلها عبر الليف.
- يجب أن تتمتع بسرعة تعديل (Modulation Rate) عالية لضمان إرسال أكبر قدر ممكن من المعلومات.
- يفضّل أن تكون الدوائر الإلكترونية المصاحبة للمصدر من أجل تشغيله أبسط ما يمكن.
- قلة التكلفة.

٧- ١- ١ أطوال الموجات العاملة Operating Wavelengths

كما أشرنا سابقاً، يتوجب أن يكون الطول الموجي الذي يعمل عليه المصدر مطابقاً للأطوال الموجية التي يعمل عليها الليف بشكل فعّال. حيث يؤثر الطول الموجي وبشكل مباشر على قيمة التوهين وتشتيت النبضات المرسلة عبر الليف، من هذه الناحية فإنه كما ذكر في الوحدة الثالثة فإن أنظمة الاتصالات البصرية تستخدم الأطوال الموجية التالية:

- $\lambda = 850$ nm وهو أول طول موجي تم استخدامه، حيث إن الأجهزة والألياف التي تعمل على هذا الطول الموجي هي الأرخص والأبسط في التصميم.
- $\lambda = 1310$ nm وهو أفضل طول موجي من ناحية أقل تشتيت.
- $\lambda = 1550$nm وهو أفضل طول موجي من ناحية أقل توهين ،إلا أن الأجهزة والمعدات التي تعمل عليه هي الأغلى في التكلفة.
- $\lambda = 650$ nm وهو الطول الموجي الأفضل لعمل الألياف البلاستيكية.

إن الطول الموجي للضوء المنبعث من المصدر الضوئي يعتمد بشكل أساسي على نوع المادة التي يصنّع منها ويحسب وفقاً للطريقة التالية:

ينبعث الضوء على شكل فوتونات (Photons) بطاقة للفوتون الواحد تحددها معادلة بلانك:

$$E_g = hf = \frac{hc}{\lambda} \qquad (7.1)$$

حيث ترمز E_g إلى طاقة الثغرة (Energy Gap) للمادة المصنع منها المصدر الضوئي،

f ترمز إلى تردد الضوء،

c ترمز إلى سرعة الضوء،

h إلى ثابت بلانك ($h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s).

من العلاقة السابقة نستطيع إيجاد λ:

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} \qquad (7.2)$$

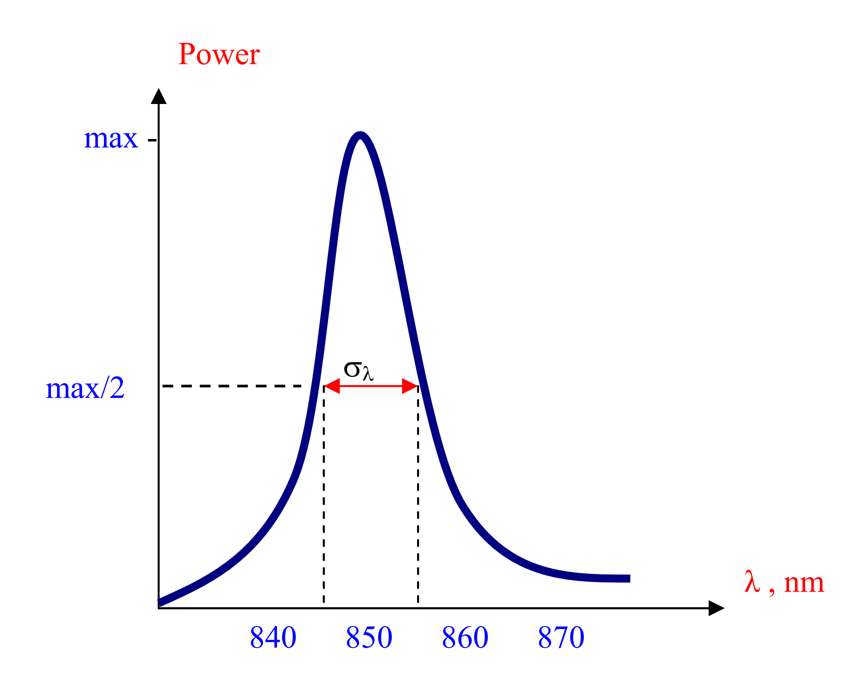
إذا ما قدرنا طاقة الثغرة بالإلكترون فولت (e.v)، والطول الموجي بالميكرومتر [µm] فإن العلاقة السابقة (7.2) تصبح على الشكل المبسط التالي:

$$\lambda = \frac{1.24}{E_g} \qquad (7.3)$$

وكل مادة لها طاقة ثغرة خاصة بها وبالتالي طول الموجي مقابل ومن هنا يتضح كيفية اعتماد الطول الموجي المنبعث من المصدر الضوئي على نوع مادة شبه الموصل المصنوع منها المصدر الضوئي.

هنالك معامل آخر مرتبط بالطول الموجي ويعبر عن العرض الإشعاعي للضوء المنبعث من المصدر (SpectralWidth)، وفي حالات أخرى يسمى عرض الخط (Linewidth).

لتحديد قيمة العرض الإشعاعي (σ_λ) نأخذ عرض الشكل الذي يمثل الضوء المنبعث من المصدر وعلى مستوى (50%) من القيمة القصوى للقدرة الضوئية المنبعثة منه (انظر الشكل ٧- ١). تؤثر قيمة العرض الإشعاعي للمصدر على قيمة تشتيت المادة وتتراوح من (20 nm) إلى (50 nm) للديود الباعث للضوء وأقل من(1nm) لليزر.



الشكل (٧- ١) كيفية تحديد العرض الإشعاعي (σ_λ)

وتعتمد قيمة الطول الموجي المنبعث من المصدر والعرض الإشعاعي له على العوامل التالية:

- نوع مادة شبه الموصل المصنوع منها المصدر الضوئي.
- تركيبة وبناء المصدر الضوئي.
- ظروف التشغيل،

٧- ١- ٢ الديود الباعث للضوء Light Emitting Diodes

يعتبر الديود الباعث للضوء من المصادر الضوئية الواسعة الانتشار وقليلة التكاليف والتي تستخدم للاتصالات قصيرة المدى التي تعمل على سرعات ارسال ليست بالعالية (لغاية 125 Mbit/s). مثل شبكات الاتصالات المحلية (LAN). غالباً ما تصنّع الديودات الباعثة للضوء وتعمل على الطول الموجي (850 nm) و (1310 nm) بالإضافة إلى (650 nm) للعمل مع الألياف البلاستيكية.

يعتمد مبدأ عمل الديود الباعث للضوء على نظرية وصلة "PN" (PN Junction) والتي تعتبر الأساس في مبدأ عمل جميع المكونات الكهروضوئية (المصادر والكواشف الضوئية وغيرها)، تصنّع الديودات الضوئية من مواد أشباه الموصلات (Semiconductor Materials) مثل: (GaAsP, GaAs, InGaAsP) والتي تعتبر من المواد المركبة (Compounds) من عنصرين أو أكثر من عناصر الجدول الكيميائي للمواد، والتي تتمتع بالخصائص الكهربائية المطلوبة غير المتوفرة في العناصر الأحادية. وللمزيد من المعلومات حول هذا الموضوع يمكن الرجوع إلى مقرر الإلكترونيات. ويوضح الجدول (٧- ١) المواصفات والخصائص للديودات الباعثة للضوء ومدي تغيرها هذه الخصائص تبعا للمادة المصنعه منها.

جدول (٧- ١) المواصفات والخصائص لبعض أنواع الديود الباعث للضوء.

المادة Material	نوع الديود Type	الطول الموجي Wavelength [nm]	عرض الخط Spectral Width [nm]	القدرة الخارجة Output Power [μW]	التيار الأمامي Forward Current [mA]
AlGaAs	S-LED	660	20	190 - 1350	20
	E-LED	850	35 - 65	10 - 80	60 - 100
GaAs	S-LED	850	40	80 - 140	100
	E-LED	850	35	10 - 32	100
InGaAsP	S-LED	1300	110	10 – 50	100
	E-LED	1300	25	10 – 150	30 – 100
	E-LED	1550	40 - 70	1000 - 7500	200 - 500

S-LED: Surface Emitter Light Emitting Diod.

E-LED: Edge-Emitter Light Emitting Diode.

٧- ١- ٣ ديود الليزر Laser Diode

لقد بدأ ظهور الليزر المصنوع من أشباه الموصلات في العام (1970) حيث أصبح من الممكن استخدامه في أنظمة الاتصالات البصرية. ويأتي المعنى المقصود بمصطلح " Laser " اختصاراً للجملة

الإنجليزية التالية (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) والتي تعني: تضخيم الضوء عن طريق الانبعاث الإشعاعي المحفّز.

يتشابه ديود الليزر والديود الباعث للضوء من حيث مبدأ العمل لكن طريقة انبعاث الضوء تختلف، حيث يحصل تكبير (Amplification) للفوتونات المتولّدة داخل الليزر وذلك بعد تحفيزها، وحتى يتم ذلك لا بُد من تحقيق شرطين:

- وجود مصدر تحفيز.
- توفير حيز ضيق لحصر الفوتونات وذلك لزيادة فرص تصادمها.

لذلك فإن الانبعاث في الديود العادي (LED) هو تلقائي (Spontaneous Emission) بينما في الليزر يكون انبعاث محفّز (Stimulated Emission)، لذلك فإن عدد الفوتونات المتولدة في الليزر أكبر منها بكثير في حالة الديود الباعث للضوء، ومن هنا فإن القدرة الخارجة من الليزر تكون عالية نسبياً.

إن الاختلاف الأساسي في التركيب بين الليزر والديود الباعث للضوء هو وجود تغذية راجعة للفوتونات (Feedback) عن طريق المرايا الجانبية في الليزر وعدم وجودها في الديود الباعث للضوء.

يعتبر الليزر من الأجهزة الحساسة جداً لدرجة الحرارة وللضوء المنعكس من الليف، حيث تجب مراعاة ذلك عند الاستخدام. وقبل أن نقوم بدراسة الخصائص العملية لليزر هنالك عدد من التحذيرات التي يجب الانتباه لها عند التعامل مع الليزر، حيث يتسبب الليزر في إصابة شبكية العين وحروقات لجلد الإنسان. وهذه التحذيرات هي:

- تذكر دائماً أن أشعة الليزر المستخدمة في أنظمة الاتصالات ليس لها لون وبالتالي فهي ليست مرئية للعين البشرية، ومن هنا تأتي زيادة الخطورة.
- القدرة الخارجة من الليزر عالية نسبياً ويمكن أن تتسبب في إصابة العين.
- لا يجوز بتاتاً النظر إلى الليزر مباشرة أو لليف مربوط مع الليزر.
- عند التعامل، تأكد أن جميع أجهزة الليزر مفصولة (Powered Off).
- يجب توخي الحذر عند فصل الليف عن الليزر (يجب ارتداء نظارات خاصة واقية من أشعة الليزر وقفازات لحماية اليدين).

- **خصائص الليزر** Laser Characteristics

سوف يكون تركيزنا على الجوانب العملية لعمل الليزر، لذلك سنقوم بالتعرف على الخصائص العملية لليزر وأهمها:

أ- **الكفاءة الكمية لليزر** Laser Quantum Efficiency "η"

يمكننا تعريف الكفاءة الكمية لليزر بأنها عدد الفوتونات المتولدة داخله نسبة إلى عدد الإلكترونات الداخلة عليه. وتختلف قيمة الكفاءة الكمية باختلاف نوع الليزر وتعتمد بشكل كبير على درجة الحرارة، وتتراوح قيمتها بين الصفر والواحد أو تعطى كنسبة مئوية. تعتبر القيمة ($\eta = 0.7$) جيدة لمعظم أنواع الليزر.

ب- **تيار العتبة وتأثير درجة الحرارة** Threshold Current Temperature Dependence

يمكننا تعريف تيار العتبة بأنه الحد الأدنى لقيمة التيار الذي يجب أن يدخل على الليزر حتى يشغله بالشكل الصحيح، أما في حالة كون التيار الداخل أقل من تيار العتبة فإن الليزر يعمل كديود باعث ضوئي عادي بدون أي تكبير داخلي.

زيادة درجة الحرارة تزيد قيمة تيار العتبة مما يؤدي إلى زيادة قيمة الفاقد في القدرة التي سوف يتعرض لها الليزر والتي تتسبب في تلفه إذا زادت عن الحد المسموح به. من هنا تتوضح حساسية الليزر للتغير في درجات الحرارة، وعملياً يجب توفير نظام تبريد لليزر لمقاومة الارتفاع في درجات الحرارة وبالتالي تقليل الفقد وحمايته من التلف.

ج- **زمن الصعود والهبوط** Rise and Fall Time

تعتبر هذه القيم من المؤشرات الرئيسة لتحديد سرعة عمل الليزر والتي تعتمد على نوع وتصميم الليزر وتقاس بالنانوثانية (Nanosecond)، حيث تصل إلى أقل من (0.1 ns).

د- **الإزاحة الترددية** Frequency Chirp

تنقسم ديودات الليزر إلى:

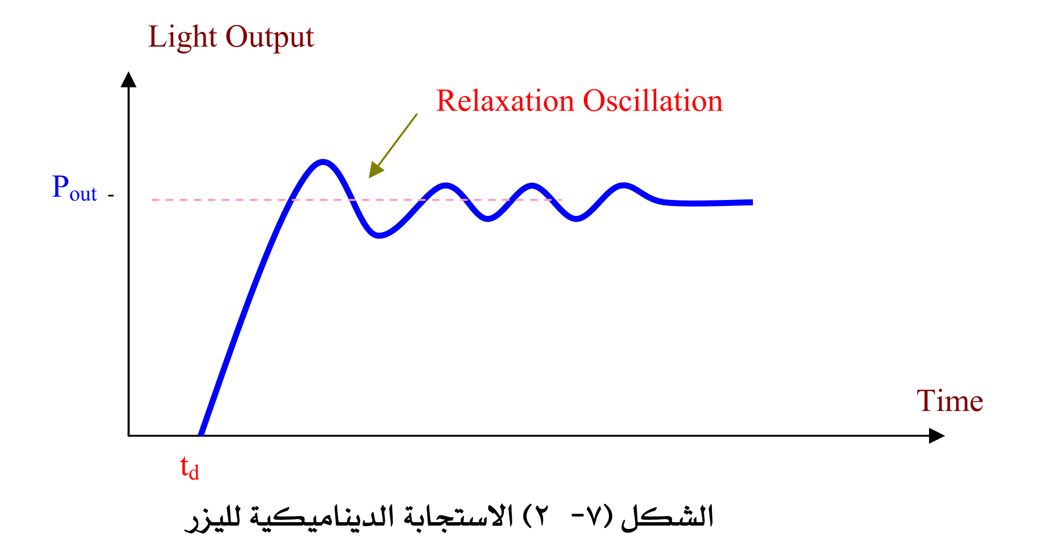
- متعدد النمط ويقصد بذلك أن الضوء المنبعث من الليزر تكون قدرته موزّعة على مجموعة من الأطوال الموجية وكل منها يقابله نمط معين.

- أحادي النمط حيث إن القدرة للضوء المنResponse يزر تشغل حيزاً ضيقاً جداً من الأطول الموجية.

و تتمثل مشكلة الإزاحة الترددية في أن النمط الرئيس والوحيد في حالة الليزر أحادي النمط تحصل له إزاحة ديناميكية (Dynamic Shift) بعد عمل التعديل المباشر لليزر وكنتيجة لذلك فإن العرض الإشعاعي (σ_λ) لليزر يزداد اتساعاً.

هـ- الاستجابة الديناميكية Dynamic Response

تمثل الاستجابة الديناميكية لليزر (الشكل ٧- ٢) كيفية ظهور القدرة الخارجة منه والتأخير الزمني (Delay) في لحظة بداية التشغيل (t_d)، حيث نلاحظ أن القدرة ليست مستقرة في البداية يحصل تذبذب على الشكل الموجي بتردد يصل إلى (10GHz) ويسمى التذبذب المتناقص (Relaxation Oscillation-RO) حيث يستمر لفترة زمنية قصيرة. وتؤثر هذه الظاهرة على عمل النظام وخاصة على سرعات البث العالية.



الشكل (٧- ٢) الاستجابة الديناميكية لليزر

و- قفز النمط Mode Hopping

تظهر هذه المشكلة في نوع الليزر أحادي النمط، حيث إنه في حالة زيادة قيمة تيار الحقن المشغّل لليزر عن تيار العتبة، فإن النمط الرئيس يتحرك باتجاه اليمين. إن السبب الأساسي في هذه المشكلة هو الزيادة في درجة حرارة الليزر وذلك بسبب الارتفاع في قيمة التيار وما ينتج عنه من فقد في القدرة. لعلاج هذه المشكلة يجب استخدام نظام التبريد الخاص بالليزر.

ل- الاعتمادية Reliability

تعبّر الاعتمادية عن العمر التشغيلي لليزر والذي يقاس بساعات العمل. يعتبر الليزر أقل اعتمادية من الديود الباعث للضوء وذلك لكونه أكثر تعقيداً في التصميم وأكثر تأثراً بدرجات الحرارة والضوء المنعكس، ويتراوح العمر التشغيلي لليزر من (10^4) إلى (10^5) ساعة.

٧- ١- ٤ القدرة الخارجة وإيصال الضوء إلى الليف Output Power and Light Coupling

تتراوح قيمة القدرة المنبعثة من المصادر الضوئية من عشرات الميكرو وات (μW) للديود الباعث للضوء وتصل إلى حوالي (100W) لبعض أنواع الليزر. إن نسبة الضوء الذي يدخل فعلياً إلى الليف هو نسبة قليلة من تلك القيم (تقل عن (1%) أحياناً)، والتي تعتمد على:

- الزاوية التي يخرج بها الضوء من المصدر (Radiation Angle).
- المساحة الإشعاعية للضوء الخارج من المصدر (Light Emitting Area).
- درجة الموائمة بين المصدر والليف (Alignment of the Source and Fiber).
- الفتحة العددية لليف (Fiber Numerical Aperture).

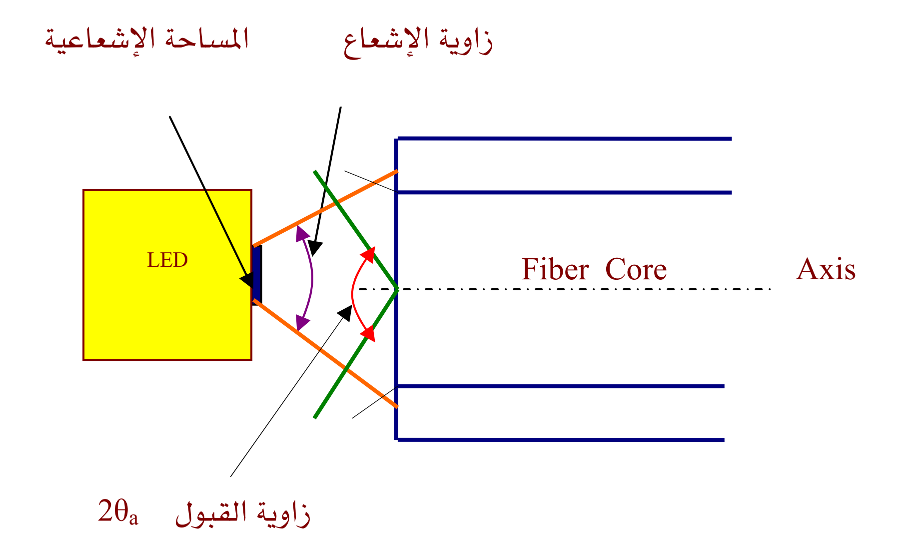
يمكننا توضيح العوامل السابقة الذكر على الشكل (٧- ٣).

عملياً لقياس نسبة الضوء الواصل فعلياً لليف البصري سوف نستخدم ما يعرف بفعاليّة أو كفاءة التوصيل (Coupling Efficiency) والتي سنرمز لها (η_c) حسب العلاقة التالية:

$$\eta_c = \frac{P_{in}}{P_s} \qquad (7.4)$$

حيث إن P_{in} ترمز إلى القدرة الداخلة فعلياً إلى الليف.

P_s ترمز إلى القدرة الخارجة من المصدر.



الشكل (٧- ٣) انتقال الضوء من المصدر لليف

٧- ٢ الكواشف البصرية Photodetectors

إن الوظيفة الأساسية للكاشف البصري هي تحويل الإشارة الضوئية القادمة من الليف إلى إشارة كهربائية (تيار كهربائي تحديداً)، حيث تتناسب قيمة هذا التيار الناتج مع شدة الضوء الواصل. سوف نقدم في هذه الوحدة شرحاً مبسطاً ومختصراً لمبادئ وأنواع الكواشف البصرية المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية وسوف يكون تركيزنا على الديود الضوئي (Photodiode).

- **متطلبات عامة للكاشف البصري** Photodetector Requirements

للحصول على أداء عالٍ، هنالك العديد من الشروط والمتطلبات الواجب توفرها في الكاشف البصري:

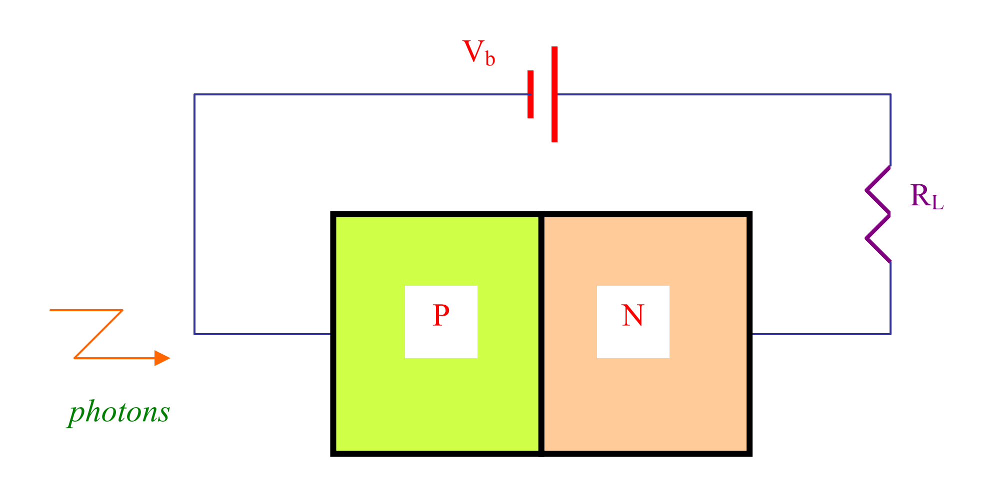
- حساسية عالية (High Sensitivity) على الطول الموجي العامل.
- كفاءة كمية عالية (High Quantum Efficiency) (استجابة عالية للإشارات المستقبلة).
- زمن استجابة قصير (Short Response Time) للحصول على عرض نطاق مناسب.
- مستوى ضوضاء أقل ما يمكن (Minimum Noise Produced).
- استقرارية خصائص الأداء (Stability of Performance Characteristics).

- حجم صغير ليتناسب مع مقاسات الليف.
- جهد انحياز قليلة (Low Bias Voltage).
- اعتمادية عالية (High Reliability).
- تكلفة قليلة (Low Cost).

٧- ٢- ١ أنواع الكواشف البصرية Photodetector Types

الكواشف البصرية تقوم بعكس عمل المصادر الضوئية، لكن المبادئ واحدة وتعتمد على نظرية وصلة PN (انظر الشكل ٧- ٤).

يقوم الديود الضوئي بامتصاص الضوء الواصل إليه من الليف على شكل فوتونات وتحويلها إلى إلكترونات تنبعث منه، وبالتالي يتشكل تيار كهربائي من تلك الإلكترونات يسمى التيار الضوئي (Photocurrent) يسري خلال الحمل (Load) R_L، وللمزيد من المعلومات حول هذا الموضوع يمكن الرجوع إلى مقرر الإلكترونيات.



الشكل (٧- ٤) مبدأ عمل الديود الضوئي نوع PN

وهنالك الكثير من الأنواع للكواشف البصرية والتي تصنّع من أشباه الموصلات، وسوف نتعرف على أهمها:

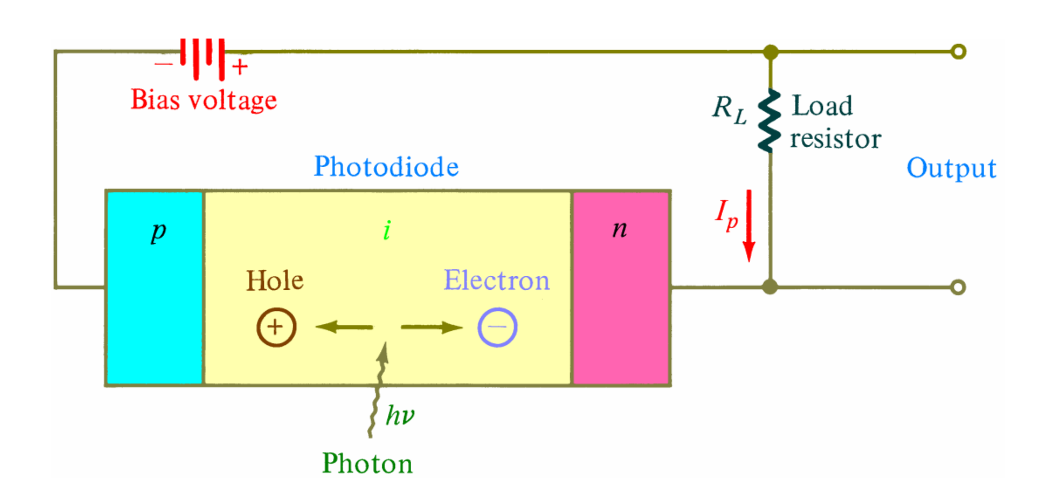
أ- ديود ضوئي من نوع PN Photodiode PN

يعتبر هذا النوع الأبسط والأقل تكلفة من جميع أنواع الكواشف البصرية وهو عبارة عن وصلة PN موصّولة بجهد انحياز عكسي مما يضمن توليد أزواج من الشحنات الكهربائية نتيجة سقوط

الفوتونات وامتصاصها من قبل الديود. تعتبر المواصفات العملية لهذا النوع من الكواشف البصرية متواضعة جداً ولا تصلح للاستخدام في أنظمة الاتصالات البصرية، لكنها تستخدم واسعاً في الإلكترونيات المنزلية.

ب- ديود ضوئي من نوع P-I-N   P-I-N Photodiode

يعتبر الديود من نوع (P-I-N) نموذج مطور للديود من نوع (PN)، حيث يتكون من منطقة شبه موصل نقية (Intrinsic) عريضة بين المنطقتين (P و N)، الشكل (٧- ٥) ومن هنا جاءت التسمية (**I**). تسمح هذه المنطقة العريضة بامتصاص عدد أكبر من الفوتونات وبالتالي الحصول على كفاءة، واستجابية، وسرعة أعلى مقارنة مع الديود من نوع (PN) دون الحاجة لزيادة جهد الانحياز.



الشكل (٧- ٥) تركيب الديود الضوئي من نوع P-I-N

جـ- ديود ضوئي جرفي   Avalanche Photodiode "APD"

يتميز الديود الضوئي الجرفي والذي يعرف اختصاراً (APD photodiode) بتكبير داخلي يزيد من حساسيته (Sensitivity) بشكل كبير. يتشابه الديود من نوع (APD) مع الديود من نوع (P-I-N) من ناحية البنية الأساسية ونوع المواد المستخدمة. ويعتبر مستوى الضوضاء المرتفع نسبياً السلبية الرئيسة للديودات من نوع (APD) مقارنة مع الأنواع الأخرى، كما أنها حساسة لتغير درجة الحرارة حيث يتناقص معدل التكبير بزيادة درجة الحرارة.

د- الترانزستورات الضوئية Phototransistors

يمكننا اعتبار الترانزستور الضوئي بأنه ترانزستور يتم التحكم بتياره عن طريق الضوء الساقط عليه من الليف. تصنّع الترانزستورات الضوئية على شكل دوائر متكاملة صغيرة الحجم وذلك لتقليل مستوى الضوضاء الداخلية ولرفع الحساسية، حيث تستخدم عندما تكون قدرة الضوء منخفضة.

تتوفر الترانزستورات الضوئية بنوعين ترانزستور الوصلة ثنائية القطبية (Bipolar Junction Transistor) ويرمز له اختصاراً (BJT) والنوع الثاني ترانزستور تأثير الحقل (Field Effect Transistor) ويعرف اختصاراً (FET). وتستخدم الترانزستورات الضوئية في دوائر وأجهزة التحكم وأنظمة الإنذار والتطبيقات التي لا تحتاج إلى سرعات عالية.

٧- ٢- ٢ خصائص الديود الضوئي Photodiode Characteristics

أ- الكفاءة الكمية Quantum Efficiency (η)

تعرّف الكفاءة الكمية للديود الضوئي بأنها عدد الإلكترونات الخارجة منه نسبة إلى عدد الفوتونات الساقطة عليه، حيث تتغير قيمتها بتغير الطول الموجي ودرجة الحرارة وتكون ما بين الصفر والواحد (عادة حوالي 0.7) أو تعطى كنسبة مئوية.

ب- الاستجابية Responsivity "R"

عند الحديث عن أداء وعمل الثنائي الضوئي عادة ما تستخدم الاستجابية (R) والتي تعرف على أنها النسبة بين التيار الضوئي (Photocurrent I_p) الخارج من الديود والقدرة الضوئية (Optical Power) الداخلة عليه (P_o) ووحدتها أمبير على وات [A/W]. وتعتمد (R) بشكل كبير على نوع المادة التي يصنّع منها الديود الضوئي وعلى الطول الموجي (λ).

جـ- زمن الاستجابة Response Time

زمن الاستجابة هو الزمن اللازم للديود الضوئي حتى يستقبل القدرة البصرية الواصلة له ويحولها إلى تيار كهربائي، وفي بعض الحالات يسمى بزمن الصعود (Rise Time) ويرمز له (t_r) وهناك أيضاً زمن الهبوط (Fall Time) ويرمز له (t_f). تعتمد قيمة زمن الاستجابة على تركيبة وتصميم الديود، نوع المادة المصنوع منها، وجهد الانحياز وتصل إلى أقل من ns (0.1).

د- **جهد الانحياز** Bias Voltage

كما أشرنا سابقاً يجب أن توصيل الديود الضوئي بانحياز عكسيً (توصيل الموجب مع N والسالب مع P) وذلك لضمان عمل الديود الضوئي. وتعتمد قيمة الجهد على نوع الديود وتؤثر على تشغيله و أدائه، حيث تتراوح من (5 V) وتصل إلى أكثر من (200 V) للديود من نوع (APD).

٧- ٢- ٣ **الضوضاء في الديود الضوئي** Photodiode Noise

هنالك العديد من أشكال الضوضاء التي تتواجد في الديودات الضوئية وتكون مصاحبة لها أثناء التشغيل، حيث سنتطرق لفهم ماهيتها وكيفية حسابها.

أ- **ضوضاء تيار الظلام** Dark Current Noise

يعرّف تيار الظلام (Dark Current) والذي سنرمز له (I_d) بأنه التيار الذي يسري خلال الديود الضوئي بالرغم من عدم وصول الضوء له، ولذلك لو وضعنا الديود في مكان مظلم وأبعدناه عن الضوء فسوف يسري تيار خلاله، من هنا جاءت تسميته بهذا الاسم. يؤثر هذا التيار سلباً على عمل وأداء الديود والمستقبل ككل، عادة ما تُعطى قيمة التيار المظلم في مواصفات الديود الضوئي العملية وتعتمد قيمته على العوامل التالية:

- نوع المادة المصنوع منها الديود.
- جهد الانحياز العكسي.
- درجة الحرارة.

تعتبر الثنائيات الضوئية المصنوعة من الجرمانيوم الأسوأ من حيث التيار المظلم، لذلك لا يتم استخدامها في أنظمة الاتصالات البصرية.

ب- **ضوضاء الطلقة** Shot Noise

تعرّف ضوضاء الطلقة بالتذبذب العشوائي للتيار الضوئي (I_p) الناتج على مخرج الديود الضوئي حول قيمته المتوسطة.

جـ- **القدرة المكافئة للضوضاء** Noise Equivalent Power "NEP"

تعرّف القدرة المكافئة للضوضاء (NEP) بأنها قيمة القدرة الداخلة بطول موجي معين على ديود ضوئي لينتج عنها تيار ضوئي مساوٍ للقيمة الفعالة لتيار الضوضاء ($I_{p,rms}$)، ضمن عرض نطاق ترددي قيمته (1 Hz).

د- الكشفية Detectivity

تعرّف الكشفية للديود الضوئي حسب العلاقة التالية:

$$D = \frac{1}{NEP} \qquad (7.5)$$

بعض الأحيان تعطى قيمة تسمى الكشفية المميزة (Specific Detectivity) ويرمز لها (D^*) والتي تأخذ بعين الاعتبار مساحة الديود الضوئي وتعرّف على الشكل التالي:

$$D^* = D\sqrt{A} \qquad (7.6)$$

مثال (٧- ٤):-

لديك ديود ضوئي من نوع (P-I-N) مصنوع من الجرمانيوم بمقاس (100 × 50 µm) والقدرة المكافئة للضوضاء (10^{-14} W×NEP= 8.78) أوجد الكشفية المميزة لهذا الديود.

الحل

لحساب الكشفية المميزة، نستخدم العلاقة (7.6)

$$D^* = D\sqrt{A}$$

ونستخدم العلاقة (7.5) لحساب قيمة الكشفية

$$10^{-14} \times D = 1 / NEP = 1 / 8.78$$

$$D = 1.139 \times 10^{13} \quad 1/W$$

$$D^* = 1.139 \times 10^{13} \sqrt{100 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^{-6}} \qquad m/W$$

$$D^* = 8.1 \times 10^{8} \qquad m/W$$

هـ- القدرة الصغرى القابلة للكشف Minimum Detectable Power "MDP"

تمثل هذه القيمة الحد الأدنى من القدرة الضوئية القابلة للكشف والتي يمكن للكاشف الضوئي أن يتعامل معها حتى يعمل بشكل صحيح (يعمل ضمن نسبة الإشارة إلى الضوضاء المسموح بها في الأنظمة التماثلية أو معدل الخطأ المسموح به في الأنظمة الرقمية).

و- معامل الضوضاء الإضافي الجرفي Excess Avalanche Noise Factor

في الديودات الضوئية من النوع الجرفي، هنالك ضوضاء إضافية تعتمد بشكل رئيس على نوع المادة المصنوع منها الديود. تحدد قيمة هذه الضوضاء وفقاً للعلاقة التالية:

$$F(M) = M^{x} \qquad (7.7)$$

حيث ترمز M إلى معامل التكبير للديود الجرفي (تعطى كقيمة متوسطة)،

x معامل ثابت تعتمد قيمته على نوع المادة.

كمثال على ذلك (x) تتراوح من(0.3) إلى (0.5) للسليكون ومن (0.7) إلى (1) للجرمانيوم.

٧- ٢- ٤ كيفية حساب لفقد الناتج عن توصيل الضوء من الليف البصري للكاشف

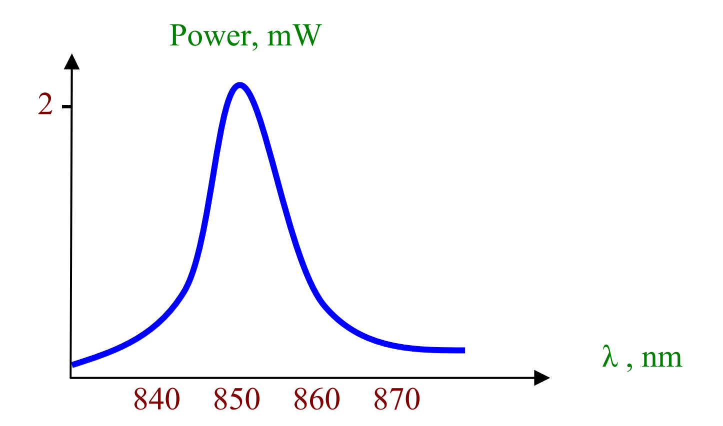
هنالك مشكلة أساسية عند توصيل الضوء من الليف إلى الديود الضوئي. ويمكننا حساب الفقد المصاحب لعملية إيصال الضوء من الليف البصري للكاشف من خلال مقارنة مساحة الضوء الخارج من الليف (A) مع المساحة الحساسة للكاشف (S) (التي يمتص الضوء من خلالها). تبعا للأتي:

إذا كانت $(S > A)$ فلن يكون هنالك فقد.

أما إذا كانت $(S < A)$ فسوف يكون هنالك فقد.

تدريبات على الوحدة السابعة

تمرين ١ : لديك مصدر ضوئي ينبعث منه الضوء حسب الرسم الموضح أدناه



(ب) العرض (أ) أفضل طول موجي يعمل عليه هذا المصدر.

(ب) العرض الإشعاعي لهذا المصدر (σ_λ).

تمرين ٢ : لديك ديود ضوئي (LED) مصنوع من مادة مركبة (InGaAsP) حيث إن قيمة (E_g =0.939 ev) أوجد :

(أ) قيمة الطول الموجي المنبعث من الديود بالنانومتر [nm].

(ب) طاقة الفوتون الواحد للضوء المنبعث.

تمرين ٣ : إذا علمت أن عدداً من الفوتونات يساوي (2×10^9) على الطول الموجي (1.3 μm) قد سقطت على كاشف بصري، وبعد القياس تبين أن عدد الإلكترونات المتولدة من الكاشف يساوي (1.5×10^{10}). أوجد الكفاءة الكمية (η) للكاشف الضوئي.

تمرين ٤ : اذكر أهم الشروط الواجب توافرها في المصدر الضوئي المستخدم في أنظمة الاتصالات البصرية؟

تمرين ٥ : وضّح سبب اختيار الأطوال الموجية التالية للاستخدام في نظم الاتصالات البصرية:

$\lambda = 1.55$ μm, $\lambda = 1.31$ μm, $\lambda = 0.85$ μm,

تمرين ٦ : عدد العوامل التي يعتمد عليها إيصال الضوء من المصدر لليف البصري موضحاً طبيعة تأثيرها؟

تمرين ٧: اذكر الشروط الواجب توفرها في الكاشف البصري؟

تمرين ٨: وضّح المقصود بتيار الظلام وتأثير درجة الحرارة عليه؟

خطوط النقل والألياف البصرية

مقدمة لتصميم أنظمة الاتصالات البصرية

الوحدة الثامنة : مقدمة لتصميم أنظمة الاتصالات البصرية

الجدارة: هي القدرة على التعرف على مبادئ تصميم أنظمة الاتصالات البصرية والمكونات الأساسية لها..

الأهداف: عندما تكتمل هذه الورحدة تكون لدى المتدرب القدرة على أن:

- يعرف كيفية اختيار المكونات الأساسية لنظام الاتصالات البصري.
- يعرف كيفية حساب ميزانية خط الاتصال البصري.
- يدرس أنواع المكونات الخاملة لنظام الاتصالات البصري.
- يدرس أنواع المكونات النشطة لنظام الاتصالات البصري.

مستوى الاداء المطلوب: أن يصل المتدرب على إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ٤ ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج "Power Point" لعرض محاضرات مقدمة لتصميم أنظمة الاتصالات البصرية.

متطلبات الجدارة:- أن يكون المتدرب ملماً بمحتوى الوحدات السابقة ومقرر الإلكترونيات

مقدمة لتصميم أنظمة الاتصالات البصرية

Introduction to Fiber Optic System Design

مقدمة

سنتناول في هذه الوحدة نبذة عن موضوع تصميم أنظمة الاتصالات باستخدام الألياف البصرية حيث إن هذا الموضوع واسع وكثير التشعب، لكن وبناء على المعلومات السابقة التي درسناها حول المكونات الأساسية للنظام سنقدم وبشكل مختصر ومبسط كيفية تصميم خط بصري لتشكيل نظام اتصال. إن أهم مرحلة في عملية التصميم هي اختيار المكونات والذي سنتناوله في البداية.

٨- ١ اختيار المكوّنات Component Selection

هنالك العديد من العوامل التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند تصميم أنظمة الاتصالات، ففي حالة النظام التماثلي يجب معرفة عرض النطاق (Bandwidth)، معدل التشويه (Distortion) بالديسبل ونسبة الإشارة للضوضاء المطلوبة (Signal to Noise Ratio). أما في حالة النظام الرقمي فيجب معرفة سرعة الإرسال بالبتات في الثانية الواحدة (Bit Rate per Second "bps") ومعدل خطأ البتات (Bit Error Rate) المسموح به.

في حالة نظام الاتصالات البصري تجب مراعاة الأمور التالية:

- نوع الإرسال: تماثلي أو رقمي.
- قيمة القدرة المطلوبة.
- المسافة الكلية بين المرسل والمستقبل.
- سرعة البث أو عرض النطاق المطلوب.
- توهين الخط.
- نوع الكيبل.
- نوع الليف.

- الوصلات البصرية.
- اللحام.
- المصدر والكاشف الضوئي.

٨- ١- ١ المصدر الضوئي Light Source

هنالك نوعان رئيسان من المصادر الضوئية التي تستخدم في أنظمة الاتصالات البصرية كما ذكر في الوحدة السابقة هما الديود الباعث للضوء (LED) والليزر (Laser)

٨- ١- ٢ الليف البصري Optical Fiber

يعتبر الليف البصري المكوّن الأساسي للنظام وعند اختياره تجب مراعاة الأمور التالية:

- عرض النطاق.
- التوهين بالديسبل لكل كيلومتر [dB/km].
- التطبيق اللازم.
- الطول الموجي العامل.
- فتحة النفوذ العددية.
- قوة الشد.
- نصف قطر الانحناء المسموح به.
- التشتيت النمطي (الداخلي).

هنالك نوعان رئيسان من الألياف: أحادي النمط ومتعدد النمط وكلاهما يمكن أن يكون من النوع العتبي أو التدريجي وبمقاسات معينة ومعتمدة.

أ- الليف أحادي النمط

- **الإيجابيات:**

- يتميز الليف الأحادي بأن لديه أكبر عرض نطاق ممكن مما يتيح إرسال المعلومات بأقصى سرعة ممكنة.
- يتوفر على الطول الموجي (1310 nm و 1550 nm).
- يوفر إمكانية إنشاء خطوط اتصال بعيدة المدى وبأقصى مسافة بين المعيدات (محطات التقوية وإعادة البث).

- **السلبيات:**

- صعوبة التعامل مع الليف أحادي النمط وخاصة في موضوع اللحام (Splicing) وتركيب الوصلات (Termination).
- الحاجة إلى مصادر ضوئية ذات مواصفات عالية من حيث العرض الخطي الذي يجب أن يكون صغيراً جداً (الأنسب هو الليزر أحادي النمط).
- التكلفة العالية نسبياً.

ب- الليف متعدد النمط

- **. الإيجابيات:**

- تكلفة أقل.
- تعتبر مناسبة وقياسية للشبكات المحلية (LAN Networks).
- لا تحتاج إلى أجهزة ضوئية غالية الثمن (مصادر وكواشف).
- السهولة في ربط وتوصيل الوصلات.
- السهولة في المواءمة عند إجراء التوصيلات مما يقلل الفقد.

- **السلبيات:**

- عرض نطاق ترددي قليل مما يجعله غير مناسب للاستخدام في الاتصالات بعيدة المدى.

تبقى الألياف متعددة النمط بمواصفات أقل كفاءة من أحادية النمط ولذلك لا تستخدم في أنظمة الاتصالات بعيدة المدى و ذات السرعة الفائقة.

٨- ١- ٣ الكيبل البصري Fiber Optic Cable

كما أشرنا سابقاً، تصنّع الألياف البصرية وترتّب داخل الكيبل ويختلف عددها حسب سعة الكيبل. عند اختيار الكيبل يجب مراعاة الأمور التالية:

- نوع الكيبل ويعتمد ذلك على نوع التطبيق.
- عدد الألياف.
- نصف قطر الانحناء المسموح به.
- عناصر التقوية والحماية.
- وزن الكيبل بالكيلوجرام لكل كيلومتر (kg/km).

٨- ١- ٤ الكاشف البصري Optical Photodetector

كما أشرنا في الوحدة السابعة هنالك أكثر من نوع من الكواشف الضوئية، لكن أكثرها استخداماً في أنظمة الاتصالات البصرية نوعان: الديود من نوع (P-I-N) والديود الجرفي من نوع (APD). في كل الحالات تجب معرفة ومراعاة الأمور التالية:

- حساسية جهاز الاستقبال (Receiver Sensitivity).
- سرعة إرسال البيانات (البتات).
- جهد الانحياز العكسي بالفولت.
- زمن الصعود والهبوط.

يتميز الديود من نوع (P-I-N) بسرعته العالية وانخفاض مستوى الضوضاء فيه، لكن حساسيته أقل من نوع (APD). حيث يتميز الديود من نوع (APD) بحساسيته العالية وذلك بسبب التكبير الداخلي لكنه ذو سرعة أقل ومستوى ضوضاء عالٍ.

٨- ٢ ميزانية الخط البصري Optical Link Budget

تعتبر عملية إيجاد ميزانية الخط البصري أو ما يسمى ميزانية القدرة (Power Budget) من أهم مراحل التصميم وتعرف بأنها جدولة جميع أنواع الفقد (كذلك التكبير من وجد) على امتداد خط الاتصال البصري. هنالك مجموعة مسببات للفقد منها الليف نفسه، الوصلات، اللحام، الموهّنات، معدات WDM ... إلخ. كذلك تتضمن الميزانية القدرة الخارجة من المصدر، حساسية المستقبل، وقيمة القدرة الواصلة للمستقبل. لتوضيح طريقة عرض ميزانية القدرة لخط الاتصال، نقدم المثال التالي:

أ- فقد الليف البصري على الطول الموجي 1310 nm:	
(15.5 km بمعدل 0.35 dB/km)	5.4dB
ب- فقد اللحام:	
(نقطتي لحام بمعدل 0.1 dB لكل نقطة لحام)	0.2 dB
ت- فقد التوصيل:	
(وصلتين بمعدل 0.5 dB للوصلة الواحدة)	1.0 dB
ث- أنواع أخرى من الفقد	0.0 dB
ج- احتياطي التصميم	2.0 dB
ح- إجمالي فقد الخط	8.6 dB
خ- متوسط قيمة القدرة الخارجة من المرسل	- 10 dBm
د- القدرة على مدخل المستقبل (حاصل طرح د - خ)	- 18.6 dBm
ذ- المدى الحركي للمستقبل	- 10dBm to – 25 dBm

ر- حساسية المستقبل على معدل خطأ 10^{-9} - 25 dBm

ز- الاحتياطي المتبقي (د - ر) 6.4 dB

لغرض الفائدة نقدم نفس المثال باللغة الإنجليزية:

- Link Optical Budget Example**:**

(a)	*Optical fiber loss at 1300 nm:*	
	15.5 km length at 0.35 dB/km	5.4 dB
(b)	*Splice loss:*	
	2 splices at 0.1 dB/splice	0.2 dB
(c)	*Connection loss:*	
	2 connections at 0.5 dB/connection	1.0 dB
(d)	*Other component loss*	0.0 dB
(e)	*Design margin*	2.0 dB
(f)	*Total link loss*	8.6 dB
(g)	*Transmitter average output power*	- 10 dBm
(h)	*Receiver input power* (g – f)	- 18.6 dBm
(i)	*Receiver dynamic range*	- 10 to – 25 dBm
(j)	*Receiver sensitivity at BER 10^{-9}*	- 25 dBm
(k)	*Remaining margin* (h – j)	6.4 dB

٨- ٣ إجراءات التصميم Design Procedure

قبل البدء في عملية التصميم يجب تجميع وتحضير البيانات حول جميع المكوّنات اللازمة للتصميم. هنالك عاملان أساسيان يجب أخذهما بعين الاعتبار:

- **الأول**: وهو الفقد الإجمالي للخط والذي تحدده ميزانية القدرة للخط
- **الثاني**: وهو القيمة القصوى لعرض النطاق والتي تحدد السرعة القصوى لإرسال البيانات في النظام الرقمي.

- **طريقة التصميم:**

١. الحصول على المعلومات التالية من بيانات الجهات الصانعة (انظر جدول ٨- ١):

- قطر الليف.
- معامل التوهين لليف.
- فتحة النفوذ العددية لليف.
- عرض النطاق لليف (MHz.km) على الطول الموجي العامل.
- الطول الأقصى لليف.
- الفقد الأقصى للأجهزة المستخدمة.

إذا لم تعط قيمة الفقد للأجهزة في المواصفات يمكننا حسابها كالآتي:

القيمة القصوى للفقد ($Loss_{max}$) =

القيمة المتوسطة للقدرة الخارجة من المرسل (P_T) مطروحاً منها حساسية المستقبل (P_r)

$$Loss_{max} = P_T - P_r$$

٢. من مخطط التركيبات يتم إيجاد:

- الطول الكلي للكيبل.
- عدد نقاط اللحام اللازم والفقد في كل نقطة.
- عدد الوصلات المطلوبة والفقد في كل وصلة.
- احتياطي التصميم
- الفقد الناتج عن أي مكونات أخرى في النظام.

٣. إكمال ميزانية القدرة حسب المثال السابق.

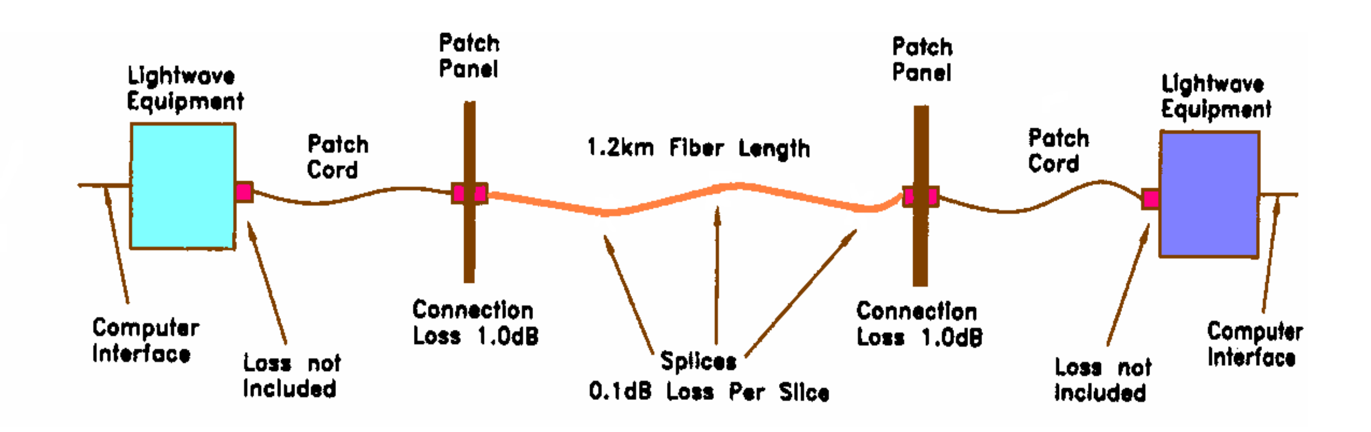
٤. الاحتياطي الباقي يجب أن يكون أكبر من صفر لضمان الحصول على تصميم مناسب.

جدول (٨- ١) بيانات ومعطيات لبعض أنواع الألياف البصرية

أقصى طول **Maximum Length [km]**	القيمة القصوى للفقد **Maximum Loss [dB] at 850 nm**	عرض النطاق لليف **Fiber Bandwidth [MHz × km]**	فتحة النفوذ العددية **Fiber NA**	توهين الليف **Fiber Attenuation [dB/km]**	نوع الليف **Fiber type [µm]**	الرقم **Number**
0.6	2.0	50	0.2	3.0	50 / 125	1
0.7	2.0	50	0.2	2.7	50 / 125	2
1.4	5.0	50	0.29	3.5	62.5 / 125	3
1.6	5.0	50	0.29	3.0	62.5 / 125	4
1.5	9.5	50	0.29	5.0	100 / 140	5
1.8	9.5	50	0.29	4.0	100 / 140	6

مثال (٨- ١):-

يلزم تصميم خط اتصال بصري لربط جهازي حاسب (انظر الشكل ٨- ١) تفصلهما مسافة (1.2 km)، علماً بأنه يلزم ثلاث نقاط لحام لربط وتوصيل الكيبل.



الشكل (٨- ١) خط اتصال بصري لربط جهازي حاسب

الحل

١. من الجدول (٨- ١) نقوم باختيار الليف (62.5/125) أو (100/140) وذلك لأن المسافة المطلوبة 1.2 km لا تتحقق إلا بهذين النوعين. وسوف نقوم باختيار الأول منهما (رقم 4 من الجدول ٨- ١).

٢. من مخطط التركيبات نحصل على:

- الطول الكلي للخط (1.2 km).
- عدد الوصلات اللازمة (2).
- عدد نقاط اللحام اللازمة (3).
- الفقد الناتج عن مكونات أخرى: لا يوجد.

٣. ميزانية القدرة:

- فقد الليف على الطول الموجي (850 nm):

(1.2 km بمعدل 3 dB/km) 3.6 dB

- فقد اللحام: 3 نقاط بمعدل (0.1 dB) لكل نقطة. 0.3 dB

- فقد التوصيل: وصلتين بمعدل (1 dB) لكل وصلة. 2.0 dB

- الفقد بسبب المكونات الأخرى 0.0 dB

- احتياطي التصميم 2.0 dB

▪ الفقد الإجمالي للخط 7.9 dB

٤. بالرجوع للجدول (٨- ١) نجد أن المجموع الإجمالي للفقد يفوق الحد (5 dB) المسموح به لليف الذي تم اختياره، وبالتالي سوف يكون الاحتياطي الباقي سالباً (2.9 dB -) وهذا لا يجوز. لذلك يجب اختيار ليف آخر.

سوف نختار الليف رقم (6) وبعد إعادة الخطوات السابقة نجد أن الفقد الإجمالي يساوي (9.1 dB) وهذا الرقم أقل من المسموح به وبالتالي سيكون الفرق موجباً وهذا اختيار سليم.

ملحوظة: في كل حالات الاختيار يجب أن يحقق الليف شرط الطول المطلوب.

مثال (٨- ٢):-

لديك نظام اتصالات بصري بالمعطيات التالية:

- معامل التوهين (α = 5 dB/km)
- القدرة الداخلة (P_{in} = -16 dBm)
- حساسية المستقبل (P_r = -30 dBm)

- فقد الوصلة $(A_c = 1.5\ dB)$، (يلزم وصلتين)
- احتياطي التصميم $(M = 5\ dB)$

(أ) أوجد طول الخط بالكيلومترات.

(ب) ارسم تغيّر القدرة بالاعتماد على الطول.

الحل

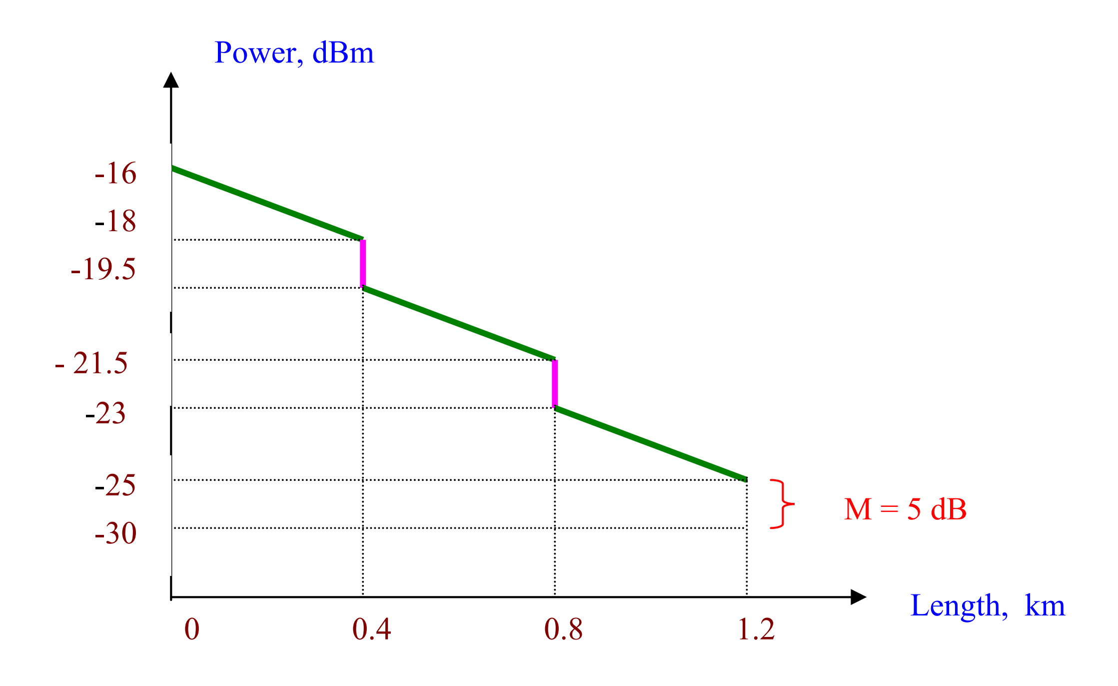
لإيجاد طول الخط نعتمد العلاقة التالية:

$$M = P_{in} - \alpha \times L - 2A_c - P_r$$

$$5\ dB = -16\ dBm - \alpha \times L - 2 \times 1.5 - (-30\ dBm)$$

$$\alpha \times L = 6dB \Rightarrow L = 6dB / 5dB/km = 1.2\ km$$

تتغيّر قيمة القدرة ابتداءً من بداية الخط وحتى نهايته حسب الشكل (٨- ٢):



شكل (٨- ٢) تغير قيمة القدرة على طول الخط

٨- ٤ المكونات الخاملة Passive Components

يمكننا تقسيم مكونات أنظمة الاتصالات البصرية إلى مجموعتين أساسيتين: الأولى: المكونات الخاملة أو السلبية (Passive Components) وهي المكونات التي لا تحتاج إلى قدرة كهربائية لتشغيلها، حيث تستخدم بشكل واسع في شبكات اتصالات الألياف البصرية (Fiber-Optic Networks)، والثانية: المكونات الفعّالة (Active Components) وهي المكونات التي تحتاج لقدرة كهربائية لتشغيلها والتي أصبحت ضرورية للتطبيق في أنظمة الاتصالات البصرية ذات المواصفات العالية. إلى هنا نكون درسنا مجموعة من المكونات والتي تعتبر أساسية في أي نظام اتصالات بصري منها الألياف، والوصلات، والمجمّعات، وأدوات اللحام، غير أن هنالك مكونات أخرى نوجزها فيما يلي:

أ- **مكونات تجميع القنوات بالتقسيم الطول الموجي** WDM components

هنالك مكونات أخرى غير الروابط تستخدم في تقنية تجميع القنوات بالتقسيم الطول الموجي والتي تعرف (Wavelength Division Multiplexing) ويرمز لها اختصاراً (WDM) أهمها:

- **معدد الإرسال** Multiplexer

يقوم بتجميع قنوات الاتصال على أطوال موجات مختلفة ومن ثم إرسالها عبر ليف واحد مما يساعد في استغلال عرض النطاق الترددي لليف بأفضل ما يمكن.

- **مزيل معدد الإرسال** Demultiplexer

يقوم بتوزيع أطوال الموجات القادمة من الليف إلى ألياف فرعية حسب العنوان لكل منها، وبذلك يقوم بعكس عمل مضاعف الإرسال.

- **الموجِّه** Router

يقوم الموجِّه بتوجيه طول موجي معين حامل للمعلومات عبر ليف بصري معين بينما يقوم بتوجيه بقية الأطوال الموجية عبر ألياف أخرى.

ب- **معدد إرسال من نوع** Add - Drop Multiplexer

يتميز هذا المعدد بأن له إمكانية إضافة أو سحب قناة اتصال أو حزمة فرعية من البتات (Bit Stream) بسرعة معينة في مواقع ونقاط محددة.

جـ- المرشحات Filters

تقوم بالسماح بإمرار أو منع طول موجي معين ويقوم بالعكس مع بقية الأطوال الموجية الأخرى وعادة ما يستخدم في جهة الاستقبال ويقوم بوظيفة مزيل معدد الإرسال.

د- الموهّنات Attenuators

تقوم بتخفيض مستوى القدرة للضوء الواصل إلى المستقبل حتى لا يحصل له حمل زائد (Overload)، وذلك بناء على معطيات ومواصفات المستقبل. عادة ما يقوم مبدأ عمل الموهّنات على امتصاص الجزء الزائد من الضوء بنسبة معينة يحددها المصنّع.

هـ- العوازل البصرية Optical Isolators

وهي عبارة عن معدات تسمح للضوء بالانتشار في اتجاه واحد وتمنعه في الاتجاه المعاكس. تلعب العوازل البصرية دوراً هاماً في أنظمة الاتصالات البصرية التي تستخدم الليزر وذلك لمنع الضوء المنعكس من الوصول لليزر والذي يمكن أن يتسبب في خلل عمل الليزر.

٨- ٥ المكونات الفعّالة Active Components

يتم أستخدام العديد من المكونات الفعّالة في أنظمة الاتصالات البصرية الحديثة أهمها:

أ- التعديل وأجهزة التعديل Modulation and Modulators

كما هو معروف فإن عملية التعديل تعتبر أساسية في أي نظام اتصال، وفي أنظمة الاتصالات البصرية لا بد من طريقة سهلة وفعّالة لتعديل الضوء وذلك لجعله يحمل المعلومات المراد إرسالها. في حالات سرعات الإرسال المتوسطة يعتبر التعديل المباشر (Direct Modulation) الأنسب للتطبيق، أما على سرعات البث والإرسال العالية جداً يجب استخدام التعديل الخارجي (External Modulation).

- **التعديل المباشر** Direct Modulation

وذلك عن طريق تغير تيار الحقن (Injection Current) الداخل على المصدر الضوئي سواء الليزر أو الديود الباعث للضوء (LED). حيث إنه من الميزات الهامة للمصادر الضوئية بنوعيها الديود الباعث للضوء، والليزر أن القدرة المنبعثة من المصدر تتغير بشكل مباشر (Directly) مع تغيّر التيار الداخل والمشغل للمصدر وتستخدم هذه الطريقة في حالات سرعات الإرسال المتوسطة

- **التعديل الخارجي** External Modulation

في حالة سرعات البث والإرسال العالية جداً (الأعلى من 1 Gbit/s) يصبح التعديل المباشر غير مناسب للأسباب التالية:

- محدودية القدرة الخارجة (Limited output Power)؛
- محدودية سرعة التعديل (Limited Modulation Speed)؛
- محدودية العلاقة بين القدرة في حالة الصفر والواحد (On-Off Ratio).
- التأثيرات غير الخطية (Nonlinear Effects)؛
- الإزاحة الترددية (Frequency Chirp)؛

في هذه الحالة ونتيجة للأسباب السابقة الذكر يجب استخدام جهاز تعديل منفصل عن المصدر الضوئي ،وأكثر الأنواع انتشاراً هو جهاز التعديل الكهروضوئي (Electro-Optical Modulator)، ومن ناحية سرعة التعديل، يعتبر الليزر الأفضل حيث تصل سرعته إلى أكثر من (10 Gbit/s).

ب- **أدوات التبديل البصرية** Optical Switches

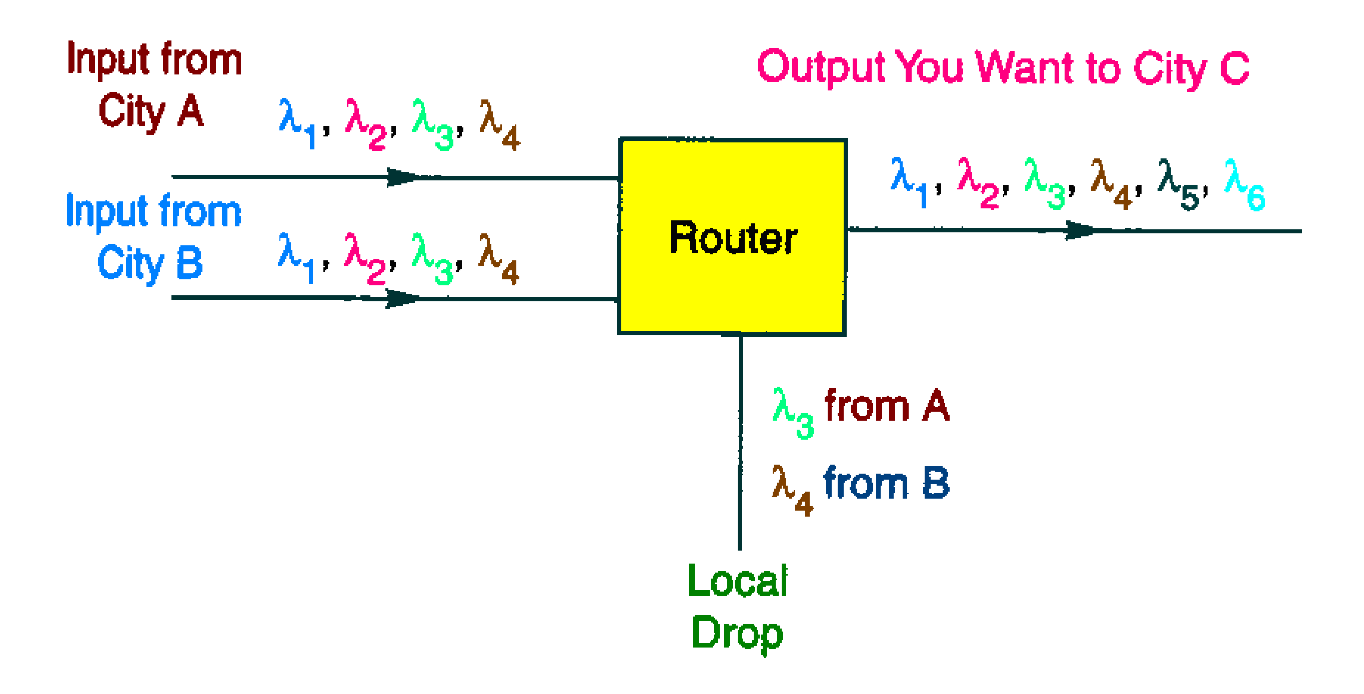
تقوم **أدوات التبديل** البصرية أو ما يسمى المفاتيح بتوجيه وإعادة توجيه الإشارات البصرية، حيث تلزم بغرض التكيّف مع الأوضاع المتغيرة للنظام. في الواقع العملي يتم تنفيذ وتصنيع المفاتيح بشكل إلكتروني للسهولة وقلة التكاليف. لكن وفي نفس الوقت يتم تطوير المفاتيح البصرية بشكل مضطرد وذلك للحاجة الماسة لها وخاصة في شبكات الاتصالات البصرية التي تعمل على سرعات إرسال عالية جداً. إن أهم ما يميز المفاتيح الكهربائية هو عدد المداخل (Inputs) و وعدد المخارج (Outputs).

تتمثل وظائف أدوات التبديل البصرية في الأمور التالية:

- استعادة وتغير مسار الإرسال (Route Restoration) في حالات أعطال الكيبل.
- تغيير هيكلية الشبكة (Changing Configuration).
- التبديل الديناميكي للكتل الكبيرة من الحركة (Dynamically Switching Large blocks of Traffic)
- إدارة أطوال الموجات في أنظمة WDM (Wavelength Management in WDM systems).

جـ- محوّلات الطول الموجي Wavelength Converters

وهي عبارة عن معدات خاصة تقوم بتحويل بعض أطوال الموجات العاملة إلى أطوال موجات أخرى محددة مسبقاً (انظر الشكل ٨- ٣)، حيث تم تصميمها لأنظمة الاتصالات البصرية ذات تجميع القنوات بتقسيم الطول الموجي (WDM Systems).



الشكل (٨- ٣) مبدأ تحويل الطول الموجي

تدريبات على الوحدة الثامنة

تمرين ١ : لديك نظام اتصالات بصري بالمواصفات والمعطيات التالية:

- قطر لب الليف (62 µm)
- معامل التوهين لليف (1 dB/km)
- القدرة الداخلة على الليف (- 10 dBm)
- حساسية المستقبل (- 40 dBm)
- طول الكيبل على البكرة (5 km)
- طول الخط الإجمالي (22 km)
- فقد اللحام (1 dB) لكل نقطة لحام

ارسم تغير مستوى القدرة مع تغير الطول.

تمرين ٢ : لديك نظام اتصالات بصري بالمعطيات التالية:

- سرعة إرسال البتتات (155 Mbps)
- نصف قطر لب الليف (25 µm)
- معامل التوهين (0.7 dB/km)
- القدرة الداخلة على الليف (0 dBm)
- احتياطي التصميم (5 dB)
- طول الليف (6 km)
- عدد نقاط اللحام (3) بفقد يساوي (0.5 dB) لكل نقطة

أوجد: (أ) حساسية المستقبل

(ب) الفقد الإجمالي للخط

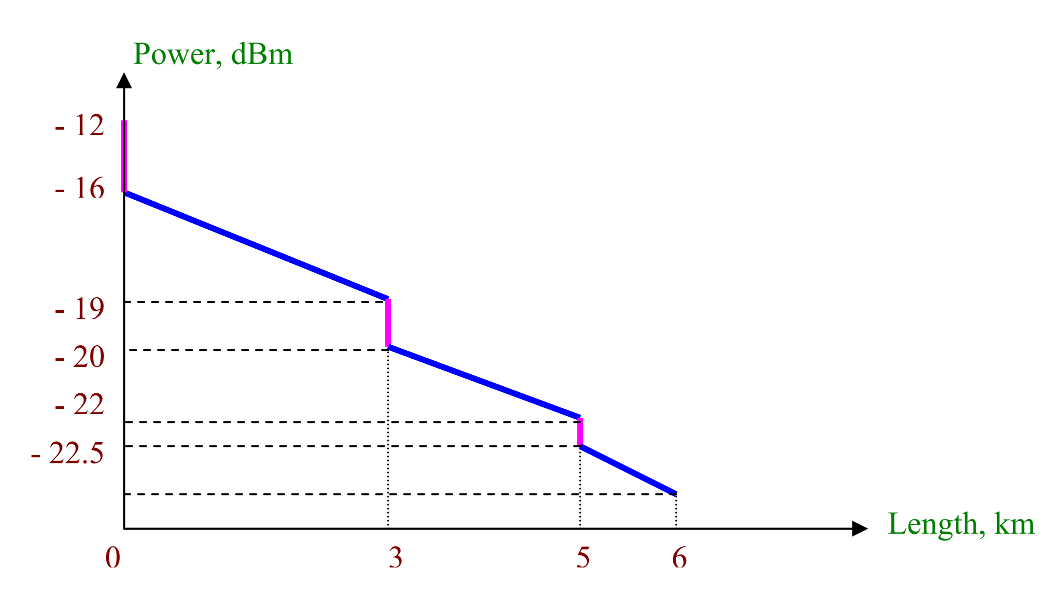
(ت) ارسم تغيّر مستوى القدرة مع تغيّر الطول

تمرين ٣: بالرجوع إلى الشكل المرسوم أدناه والذي يمثل توزيع مستوى القدرة لليف معين بالاعتماد على الطول.

أوجد: (أ) الفقد الكلي للخط

(ب) معامل التوهين لليف

(ت) فقد إيصال الضوء من المصدر لليف



شكل "تمرين(٣)" تغير قيمة القدرة على طول الخط

تمرين ٤: قم بتصميم خط اتصال بصري لربط جهازي حاسب على مسافة (1 km) و سرعة إرسال (34 Mbps) حيث يتوفر لديك أربع بكرات من الليف البصري بطول (250 meters) للبكرة الواحدة، علما بأن فقد الوصلة الواحدة (0.8 dB). (يمكنك الرجوع للجدول ٨- ١).

تمرين ٥: لو فرضنا أنه تم استبدال الليف في التمرين السابق (تمرين ٤) بآخر طوله (1km). قم بتصميم الخط في هذه الحالة؟

تمرين ٦: عدد أهم الأمور التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند تصميم أنظمة الاتصالات البصرية؟

تمرين ٧: عدد أهم الأمور التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند اختيار الكاشف الضوئي؟

تمرين ٨: عدد أهم الأمور التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند اختيار المصدر الضوئي؟

تمرين ٩: لماذا سميت ميزانية القدرة بهذا الاسم ؟

تمرين ١٠: وضّح الفرق بين المكونات الخاملة والنشطة المستخدمة في أنظمة الاتصالات البصرية. عدد أهم أنواعها؟

تمرين ١١: ما الأسباب الموجبة لاستخدام طريقة التعديل الخارجي في أنظمة الاتصالات البصرية ؟

تمرين ١٢: ما الوظائف الرئيسة للمفتاح البصري ؟

تمرين ١٣: بالرجوع إلى الإنترنت قدم بحثاً عن الأنواع التجارية المتوفرة للمكونات الخاملة التي تستخدم في أنظمة الاتصالات البصرية؟

تمرين ١٤: بالرجوع إلى الإنترنت قدم بحثاً عن الأنواع التجارية المتوفرة للمكونات النشطة التي تستخدم في أنظمة الاتصالات البصرية؟

خطوط النقل والألياف البصرية

شبكات الألياف البصرية

الوحدة التاسعة : شبكات الألياف البصرية

الجدارة: هي القدرة على التعرف على شبكات الألياف البصرية (SDH\SONET) والمكونات الأساسية لها...

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المتدرب القدرة على أن:

- يتعرف على الشبكات البصرية المتزامنة (SONET).
- يتعرف على بنية اطار الحامل البصري لشبكة (SONET).
- يتعرف على شبكة التسلسل الهرمي المتزامن (SDH).
- يدرس بنية الاطارات (STM-x) لشبكة (SDH).
- يتعرف على الطبقات والبنية الحلقية لشبكة (SDH).
- يتعرف على الشبكات البصرية شبه المتزامنة (PDH).

مستوى الاداء المطلوب: أن يصل المتدرب على إتقان الجدارة بنسبة ٩٠٪

الوقت المتوقع للتدريب على الجدارة: ٩ ساعات.

الوسائل المساعدة:

- السبورة.
- استخدام برنامج "Power Point" لعرض محاضرات شبكات الألياف البصرية.

متطلبات الجدارة:- أن يكون المتدرب ملماً بمحتوى مقرر **أساسيات الاتصالات الرقمية**

شبكات الألياف البصرية

Optical Network

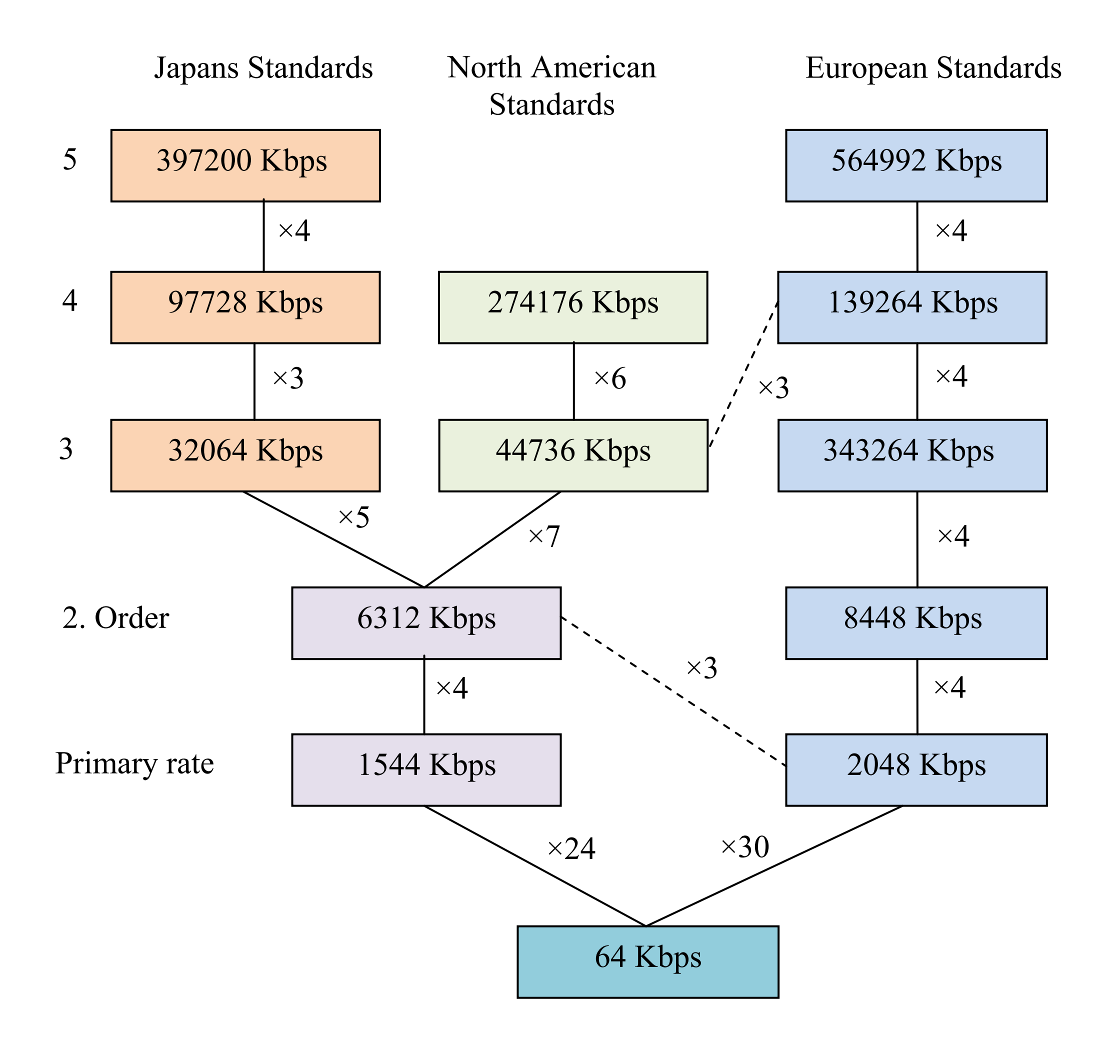
مقدمة

شبكات الألياف البصرية هي شبكات نقل البيانات باستخدام الألياف البصرية كخطوط نقل مما يمنحها سرعات نقل عالية، في بداية الثمانينات كان استخدام الليف البصري كناقل للبيانات شائعا و ممكناً و لكن دون وضوح معايير ثابتة لنقل البيانات عند السرعات العالية للتراسل الضوئي، من أول نظم شبكات الألياف البصرية ظهوراً كان الشبكة الهرمية الرقمية شبه المتزامنة (Plesiochronous Digital Hierarchy-PDH) والذي كان مستخدماً لنقل كميات كبيرة من البيانات والاتصالات الهاتفية على الألياف البصرية بدون مشاكل حيث كانت أعلى سرعة فيها هي (140 Mbps) والإشارات فيها شبه متزامنة.

في نهاية الثمانينات وبداية التسعينات ظهرت الشبكات البصرية المتزامنة ففي أمريكا الشمالية تم تطوير الشبكة البصرية المتزامنة (Synchronous Optical Networking-SONET) ووضع معاييرها، وفي أوروبا تطورت شبكة التسلسل الهرمي الرقمي المتزامن (Synchronous Digital Hierarchy-SDH) ووضع المعايير الخاصة بها عن طريق المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات السلكية واللاسلكية، والمعايير الأوربية (معايير SDH) تطبق في جميع أنحاء العالم ما عدا أمريكا الشمالية واليابان حيث إن لديهم معايير لشبكات خاصة بكل منهما. شكل (٩- ١) يوضح التسلسل الهرمي لسرعات الإرسال وفقا للمعايير المختلفة.

وهذا التطور في بناء شبكات الألياف البصرية المتزامنة ساعد مزودي الخدمة من تلبية الطلب المتنامي لتطبيقات النطاق العريض من فئات المستخدمين المختلفة والتي تحتاج معدلات إرسال عالية (155Mbps – 10Gbps). حيث تعد تقنيتي (SONET/SDH) أهم ناقل للمعلومات في مجال الإنترنت.

نظام التسلسل الهرمي الرقمي المتزامن (SDH) هو أحدث معيار لشبكات الألياف البصرية وهو المعتمد في جميع دول العالم ما عدا أمريكا الشمالية واليابان وبالتالي هو المعيار المطبق لشبكات الألياف البصرية داخل المملكة العربية السعودية لذا سوف يكون تركيزنا على هذا النظام ولكن ليتم فهم شبكة (SDH) يستلزم معرفة أساسيات شبكة (SONET).



شكل (٩- ١) التسلسل الهرمي لسرعات الإرسال وفقا للمعايير المختلفة

٩- ١ الشبكة البصرية المتزامنة Synchronous Optical Network-SONET

شبكة (SONET) يمكن تعريفها بأنها شبكة تقوم بنقل عدة إشارات ذات سرعات متباينة عبر الألياف البصرية بشكل متزامن ومرن وسرعة نقل منظمة بشكل هرمي. ويعتمد معيار الشبكة البصرية المتزامنة (SONET) على تعريف إطارات الحوامل البصرية (Optical Carriers-OC).

تبدأ إطارات الحوامل البصرية من الإطار (OC-1) ومعدل نقل البيانات فيه (51.84 Mbps)، والذي يكافئ إشارة النقل المتزامن الأول (Synchronous Transport Signal STS-1) للإشارات الكهربائية. بعد ذلك يتم توليد مستويات أعلى بالمضاعفات (OC-3)، (OC-12)، (OC-48)، (OC-192)، (OC-768) حيث أن الرقم يعني أن معدل البيانات يرتفع بمقدار (51.84) مضروباً في الرقم الذي بجوار (OC) ولهذا السبب سميت بالتزامنية وهي ميزة تجعل من السهولة إضافة وسحب (Add-Drop) قناة ما

مدمجة مع قنوات أخرى دون الحاجة لتعقيدات الفك والدمج وإعادة المعالجة. الجدول (٩- ١) يوضح مستويات الحوامل البصرية في شبكة (SONET).

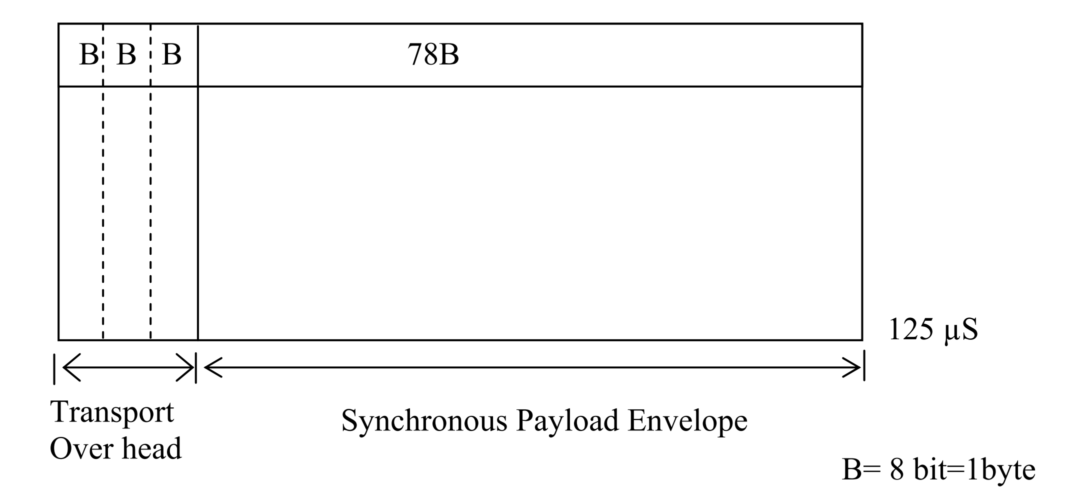
جدول (٩- ١) التسلسل الهرمي لسرعات النقل في شبكة (SONET)

Signal	Capacity	Bit Rate
STS-1, OC-1	28 DS1s or 1 DS3	51.840 Mbps
STS-3, OC-3	84 DS1s or 3 DS3s	155.520 Mbps
STS-12, OC-12	336 DS1s or 12 DS3s	622.080 Mbps
STS-48, OC-48	1344 DS1s or 48 DS3s	2488.320 Mbps
STS-192, OC-192	5376 DS1s or 192 DS3s	9953.280 Mbps
STS-768, OC-768	21704 DS1s or 192 DS3s	39813.12 Mbps

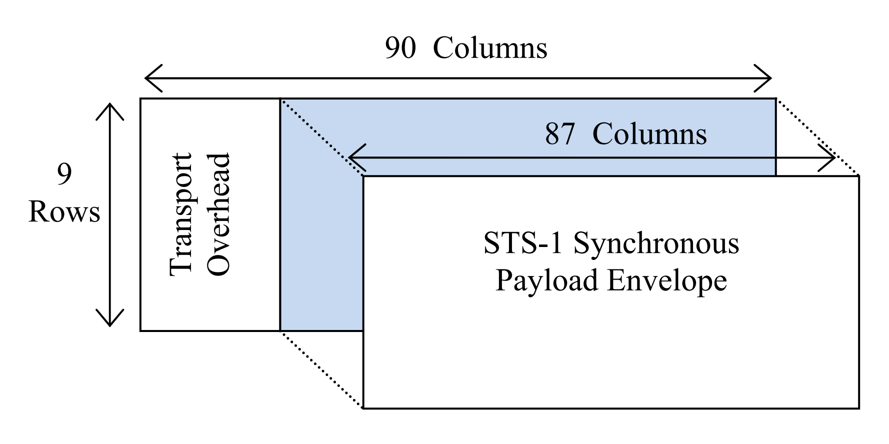
٩- ١- ١ اشتقاق إطار الحامل البصري OC-1

إطار الحامل الضوئي (OC-1) يتشكل بإنشاء هيكلة مكونة من بايتات يتم توزيعها بشكل مصفوفة من البايتات مكونة من ("90" عمود × "9" صفوف) كما بالشكل (٩- ٢) والشكل (٩- ٣)،أي أن سعة الإطار تساوي (810 byte/Frame)، ويوجد (8000) إطار في الثانية الواحدة وهذا يعني أن الزمن اللازم لكل إطار هو (125µS)، ولما كانت سعة الإطار هي (810) بايت وكل بايت واحد يتكون من (8 bit) فيصبح معدل البيانات لإطار الحامل البصري (OC-1) هو :-

$$\begin{aligned} \text{BR} &= 8000\text{Frame/ s} \times 810\text{byte/Frame} \times 8\,\text{bit/byte} \\ &= 5184000\, bps = 51.84\, Mbps \qquad (9.1) \end{aligned}$$



شكل (٩- ٢) صيغة إطار الحامل البصري OC-1



شكل (٩- ٣) عناصر إطار الحامل البصري STS-1, OC-1

يستطيع (CO-1) التعامل مع مخازن افتراضية (دوائر هاتفية) (Virtual Trunks VTs) متنوعة وذلك حسب نوع الواجهة المراد التعامل معها (هل هي مثلا واجهة المشترك الرقمي (DS-1) أم واجهات (E1) أم مضاعفاتها). هذه المخازن هي:

- VT 1.5 : بمعدل بيانات (1.728Mbps) أي أنها قادرة على استضافة واجهات (DS-1) والتي معدلها (1.544Mbps).
- VT2 : بمعدل بيانات (2.304Mbps) أي أنها قادرة على استضافة واجهة النظام الأوروبي (E1) ذات المعدل (2.048Mbps)
- VT3 : بمعدل (3.456Mbps)

• VT6 : بمعدل (6.912Mbps) وهي مناسبة لواجهات (DS-2) الأمريكية ذات المعدل (6.312Mbps)

على هذا الأساس يستطيع (OC-1) استيعاب ما مقداره (28 DS-1) أو (1 DS-3) (لأن معدل بياناتها (44.736Mbps) (أي 672 مشترك رقمي أو قناة هاتفية)، انظر الجدول (٩- ١).

٩- ٢ شبكة التسلسل الهرمي الرقمي المتزامن Synchronous Digital Hierarchy-SDH

يوجد تشابه كبير في شبكة (SONET) و شبكة (SDH) في طريقة العمل والوظيفة إلا أن هناك بعض الاختلافات البسيطة، حيث نجد أن سعة الإطار الواحد لشبكة (SONET) هي (810byte) أما سعة الإطار الواحد في شبكة (SDH) فتبلغ (2430byte) وسوف نوضح في الجزء التالي أساسيات شبكة (SDH) من حيث بنية الإطارات وبنية ومكونات الشبكة.

٩- ٢- ١ بنية الإطارات STM-x لشبكة-SDH SDH Frame Structure

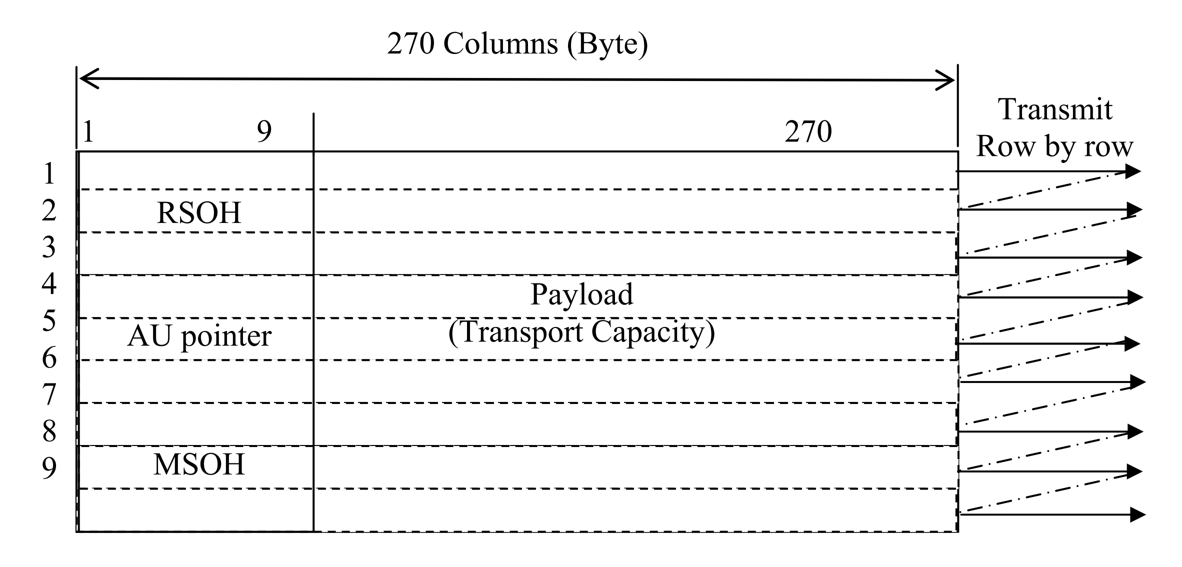
إن معيار شبكة (SDH) يشابه إلى حد كبير في الأهداف والبنية لمعيار شبكة (SONET) إلا أن معيار شبكة (SDH) يعتمد على تعريف إطار وحدة النقل المتزامنة (Synchronous Transport Module-STM) وهو إطار مضاعف ثلاث مرات من إطار الحامل البصري (OC-1) الذي تم شرحه في شبكة (SONET) ثم يتضاعف هذا الإطار في مستويات جديدة بمضاعفات رباعية وهي

STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, STM-256

يبدأ أول مستوى في معيار (SDH) بـ(STM-1) وبمعدل بيانات (155.52Mbps) أي تماما ثلاثة أضعاف (CO -1). تم اشتقاق هذا المستوى بطريقة شبيهة لمستوى (OC) ولكن بتقسيم إطار (STM) إلى مصفوفة من البايتات مكونة من ("270" عمود × "9" صفوف) أي (2430 byte/Frame) كما يتضح من الشكل (٩- ٤) والذي يوضح بنية الإطار (STM-1) وبالتالي يكون معدل البيانات هو

$$BR = 8000\,Frame/s \times 2430\,byte/Frame \times 8bit/byte = 155.52\,Mbps \qquad (2.9)$$

إرسال البيانات يتم صف صف مبتدأ بالبايت المتواجد في الركن الأيسر العلوي ومنتهياً بالبايت الموجود بالركن الأيمن السفلي علماً بأن زمن إطار(STM-1) هو (125μs) وهو نفس زمن إطار (CO-1)



شكل (٩- ٤) بنية إطار (STM-1) لشبكة (SDH)

الإطار (STM-1) قادر على نقل أي إشارة من الشبكة الهرمية الرقمية شبه المتزامنة (PDH) لها معدل (≤ 140Mbps)، ويوضح الجدول (٩- ٢) مستويات إطارات وحدة النقل المتزامنة (STM-x) وما يكافئها من مستويات إطار الحامل البصري (OC-x) المستخدم في معيار شبكة (SONET).

جدول (٩- ٢) إطارات شبكة (SONET) والإطارات المكافئة لها في شبكة (SDH)

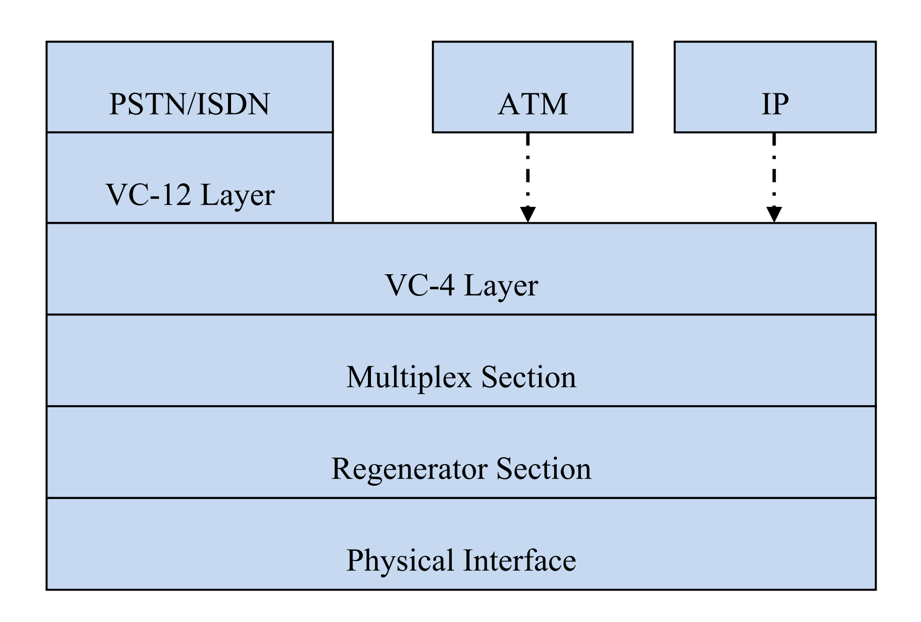
SONET signals	Bit rates	Equivalent SDH signal
STS-1, OC-1	51.840 Mbps	STM-0
STS-3, OC-3	155.520 Mbps	STM-1
STS-12, OC-12	622.080 Mbps	STM-4
STS-48, OC-48	2488.320 Mbps	STM-16
STS-192, OC-192	9953.280 Mbps	STM-64
STS-768, OC-768	39813.12 Mbps	STM-256

٩- ٢- ٢ بنية شبكة -SDH SDH Network Structure

تتكون بنية شبكة (SDH) من طبقات مختلفة ترتبط مباشرة بطوبولوجيا (Topology) الشبكة، ومن الشكل (٩- ٥) هذه الطبقات هي:-

- **الطبقة المادية Physical Layer**

هي أدنى طبقة وتمثل خط النقل المستخدم للربط بين أجزاء الشبكة و غالباً يكون الألياف البصرية وفي بعض الأحيان الميكروويف أو الأقمار الصناعية.



شكل (٩- ٥) بنية شبكة SDH

- الطبقة الفوقية Overhead Layer

وتشمل جزأين الجزء الأول جزء المعيدات (Regenerator Section Overhead- RSOH) ويتم فيه توليد إشارات التزامن الخاصة بهذه الطبقة. والجزء الثاني يستخدم لتلبية احتياجات قسم التعدد (Multiplex Section Overhead- MSOH).

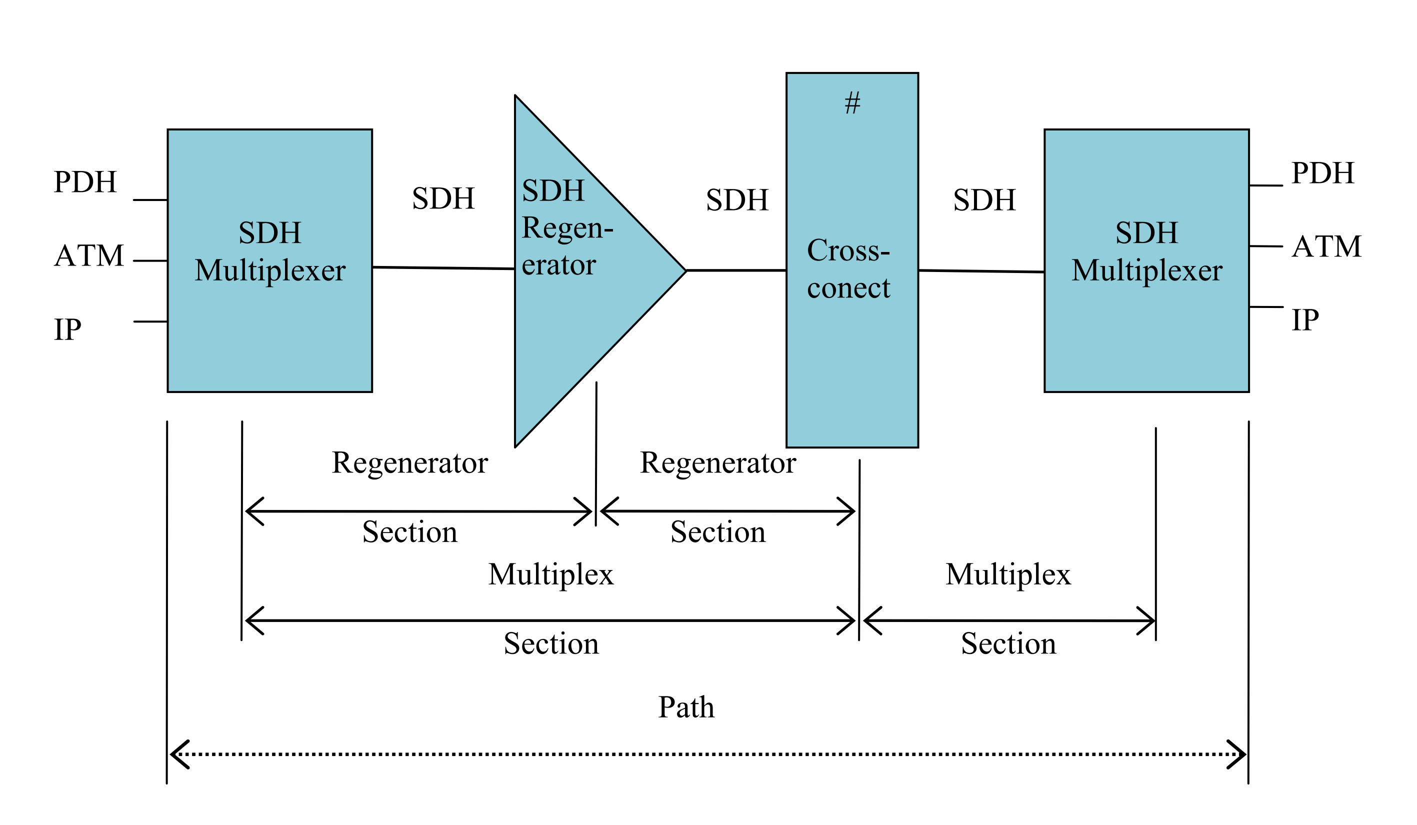
- **طبقة الإطارات الافتراضية** Virtual Containers -VC

وهي المسؤولة عن عملية تنظيم نقل البيانات داخل الشبكة حيث يتم عن طريقها دمج الإشارات الأخرى والتي لها معدلات نقل منخفضة مثل إشارات النقل الغير متزامن (PDH) و(ATM) داخل شبكة (SDH) وتنقسم هذه الطبقة إلى:-

أ- إطار افتراضي VC-4:- يستخدم لدمج الإشارات التي لها معدل يساوي (140Mbps) مثل إشارات (ATM)

ب- إطار افتراضي VC-12:- يستخدم لدمج الإشارات التي لها معدل نقل (2Mbps)

الشكل (٩- ٦) يوضح أجزاء المسار (Path Section) لشبكة (SDH)



شكل (٩- ٦) أجزاء المسار لشبكة "SDH"

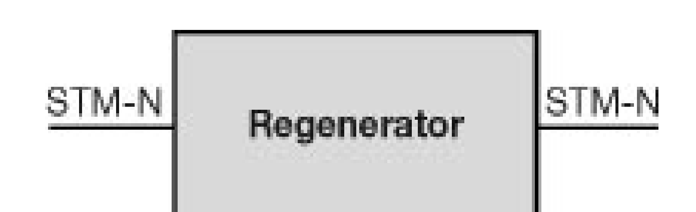
٩- ٢- ٣ مكونات شبكة –SDH

يوضح الشكل (٩- ٧) البنية الحلقية (Ring Structure) للشبكة موضحاً خليط من التطبيقات المختلفة التي يتم نقل بياناتها باستخدام شبكة (SDH) حيث إن الشبكة لديها القدرة في نفس الوقت على نقل بيانات غير متزامنة مع بيانات متزامنة وهذا بدوره يتطلب وجود مكونات محددة لشبكة (SDH) لتحقق المطلوب منها. ويتكون هيكل الشبكة (أو هيكل الحلقة) من أربع عناصر أساسية وهي:-

شكل (٩- ٧) الهيكل الحلقي لشبكة SDH

أ- المعيدات Regenerators

وظيفة المعيدات هي إعادة توليد الشكل الأصلي للإشارة المستقبلة والتي حدث لها توهين وتشويه أثناء عبورها خلال الليف البصري ومن ثم تعيد إرسالها مرة أخرى. والمعيدات تولد إشارة التزامن بناءً على تزامن الإشارة المستقبلة، شكل (٩- ٨) .



شكل (٩- ٨) معيد لشبكة SDH

ب- المعدد الطرفي Terminal Multiplexer-TM

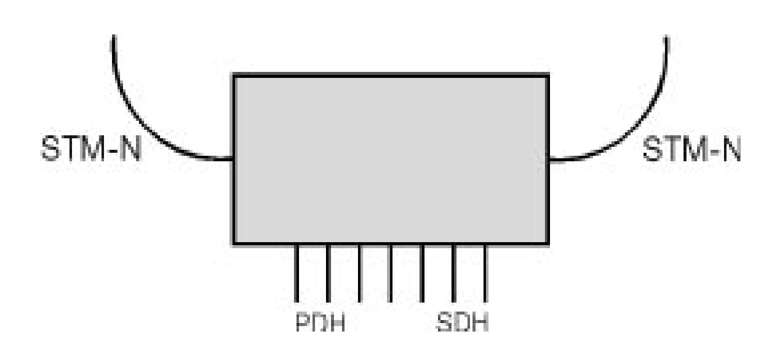
المعدد الطرفي (شكل ٩- ٩) يستخدم لتجميع الإشارات الشبه متزامنة والإشارات المتزامنة معاً داخل إطار ات وحدة النقل المتزامنة (STM-N) عالي السرعة.



شكل (٩- ٩) المعدد الطرفي TM

جـ - معدد الإضافة - السحب Add/Drop Multiplexer-ADM

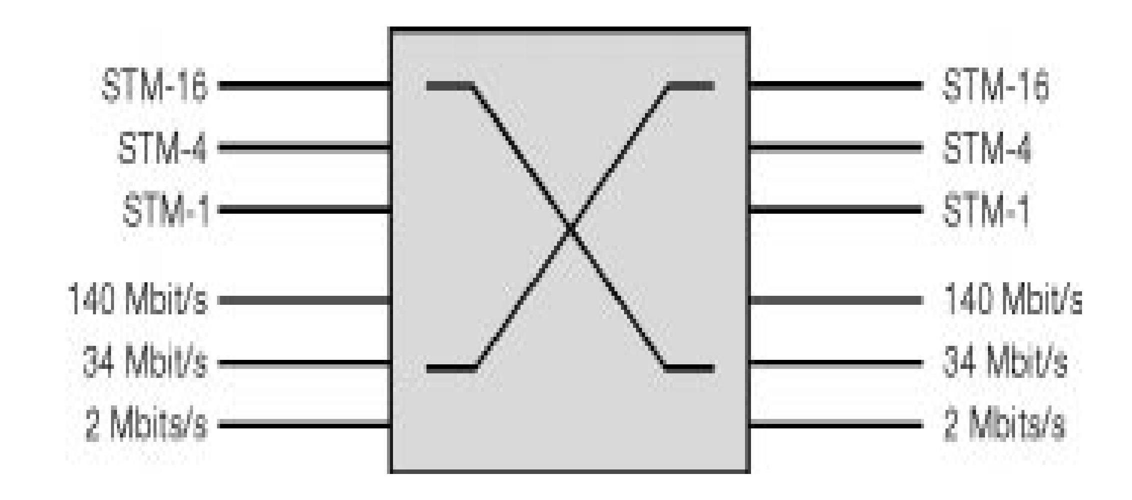
يقوم معدد الإضافة- السحب (ADM) بإضافة او سحب الإشارات شبه المتزامنة والإشارات المتزامنة ذات سرعة الإرسال المنخفضة إلى أو من مسار إشارة (SDH) العالية السرعة.



شكل (٩- ١٠) معدد الإضافة والاستلام ADM

د- التوصيل المتقاطع الرقمي Digital Cross Connection-DXC

دائرة التوصيل المتقاطع الرقمي (DXC) الموضحة بالشكل (٩- ١١) لها وظائف كثيرة منها أنها تقوم بتنظيم إشارات شبكة (PDH) داخل الإطارات الافتراضية (Virtual Containers-VC) بالإضافة إلى أنها تقوم بعملية التبديل بين محتويات الإطارات الافتراضية المختلفة (VC-4) و(VC-12) .



شكل (٩- ١١) التوصيل المتقاطع الرقمي DXC

٩- ٣ عيوب ومميزات SONET/SDH

- **أولاً: المميزات**

تم تطوير معيار الشبكات الضوئية المتزامنة في الثمانينات بهدف التوجه نحو هيكلية جديدة من الاتصالات تتمتع بالمزايا الآتية:

- معدلات إرسال عالية تصل إلى "10Gbps"
- تقليل متطلبات المعدات وزيادة مرونة الشبكة حيث إنه يمكن تغير سرعات الإرسال لأي خط من الخطوط داخل الشبكة لتلبية احتياجات المستخدمين وذلك من غرفة التحكم المركزي للشبكة بدون الحاجة لتغير أي من عتاد الشبكة.
- دعم بيانات إضافية للإدارة وتحليل الأخطاء (Overhead bytes & Payload)

- إعادة تعريف التعددية التزامنية (Synchronous Multiplexing) للإشارات الرقمية الأساسية حيث يوجد بالهيكلة المتزامنة مؤشر يشير للقناة المفروض عليها العمل ويتم عمل إزالة تعدد (Demultiplex) للقناة المطلوبة فقط بدلاً من عمل إزالة تعدد لجميع القنوات،وبالتالي تسهيل عمليات التعدد في بنية حديثة تعتمد الإضافة والسحب (Add-Drop) بدون وجود تأخير زمني في مسارات الشبكة.

- نتيجة لتوحيد شفرات الإشارات الضوئية يمكن ربط الوحدات النهائية لعدة أجهزة مختلفة من عدة شركات مع بعضها البعض. على نفس الشبكة مما يقلل من التكلفة

- يمكن التحويل المباشر من الإشارة الكهربائية إلى إشارة ضوئية بدون أي تعقيدات في خط التشفير.

- مضاعفة السعات في الهيكلة الرقمية المتزامنة يتم بالضرب في أعداد صحيحة للسعة الأولية مما يعني عدم الحاجة لإطار جديد.

- يمكن في المستقبل إرسال حزمة واسعة من الإشارات بواسطة الهيكلة الرقمية المتزامنة.

- **ثانيا العيوب**

- التعقيد التقني من حيث الحاجة المستمرة لزيادة معدلات الإرسال وتسجيل الفارق بين إشارات الروافد (Tributary Signal) و إشارات السعة الإضافية (Overhead)

- نظام الهيكلة الرقمية المتزامنة يعاني من اضطرابات في طور الموجة (Jitter) أكثر من الأنظمة الأخرى وذلك لاستخدامه الإرسال الثماني (byte by byte) بدلاً من الإرسال الأحادي .(bit by bit)

- عدم توحيد بنية المعدد (Multiplexer) لإرسال الإشارات الشبه متزامنة في الهيكلة الأوروبية والأمريكية يقودنا إلى عدة خيارات للمعدد مما يتطلب تصاميم مختلفة لعتاد الشبكة.

٩- ٤ الشبكة الهرمية الرقمية شبه المتزامنة Plesiochronous Digital Hierarchy-PDH

يستعمل معيار الشبكة الهرمية الرقمية شبه المتزامنة (PDH) الألياف الضوئية لنقل البيانات ولكن بشكل شبه متزامن وبقدرة استيعابية تبدأ من (64Kbps) واجهة (E-1) أوروبية أي بمعدل بيانات حوالي (140 Mbps) وأخرى مضاعفة أربع مرات أي حوالي (565 Mbps) . تتميز معايير شبكتي (SONET وSDH) في قدرتها على استضافة هذا المعيار أيضاً.

٩- ٥ مستقبل الشبكات البصرية المتزامنة Future Of SDH/SONET

ما زال المعياران (SONET/SDH) يشكلان ثورة تقنية في نقل المعلومات حتى اليوم. إلا أن الآمال في رفع معدلات النقل أعلى من (40Gbps) تعقدت أكثر، الأمر الذي أدى للتفكير في استغلال النطاق الترددي العريض للإرسال الضوئي (يطلق عليه النطاق الموجي بالنسبة للضوء). لهذا ظهرت توجهات جديدة نحو التعدد بتقسيم الطول الموجي (Wavelength Diviation Multiplexing -WDM) و التعدد بتقسيم الطول الموجي المضغوط (Dense Wavelength-Division Multiplexing - DWDM) والتي تسمح بإرسال بيانات متوازية بأطوال موجية مختلفة على نفس قناة الألياف الضوئية كما أن هذه الميزة تسمح أيضا بالإرسال والاستقبال على نفس الشعيرة دون تداخل (على عكس الإرسال عبر شبكة (SDH) وشبكة (SONET) والتي تعتمد على تخصيص طول موجي واحد في القناة).

تدريبات على الوحدة التاسعة

تمرين١: عرف الشبكة البصرية المتزامنة (SONET)؟

تمرين٢: ما هو زمن اطار الحامل البصري OC-3؟

تمرين٣: أذكر المخازن الافتراضية المستخدمة في شبكة (SONET)؟

تمرين٤: ما هي أوجه الشبه بين معيار شبكة (SONET) ومعيار شبكة (SDH)؟

تمرين٥: ما هي أوجه الاختلاف بين معيار شبكة (SONET) ومعيار شبكة (SDH)؟

تمرين٦: ما هي طبقات شبكة (SDH)؟

تمرين٧: ما هي مكونات البنية الحلقية لشبكة (SDH)؟

تمرين٨: ما هي مميزات الشبكات البصرية (SONET/SDH) ؟

تمرين٩: ما هي عيوب الشبكات البصرية (SONET/SDH)؟

خطوط النقل والألياف البصرية

ملحق الرموز والمصطلحات

ملحق الرموز والمصطلحات

ملحق الرموز والمصطلحات

الرمز	انجليزي	عربي
a	Radius of optical fiber core	نصف قطر لب الليف البصري
ADM	Add/Drop Multiplexer	معدد الإضافة والسحب
a_{max}	Max. radius of optical fiber core	نصف قطر اللب الأقصى
APD	Avalanche Photodiode	ديود ضوئي جرفي
BJT	Bipolar Junction Transistor	ترانزستور الوصلة ثنائية القطبية
BW	Bandwidth	عرض النطاق الترددي
C	Capacitance	السعة للمكثف
c	Light Velocity in space	سرعة الضوء في الفراغ (3 × 108 m/s)
c_n	Light Velocity in materials	سرعة الضوء في وساط له معامل انكسار n
dB	Decibel	وحدة الديسبل
dBm	Decibel per watt	ديسبل لكل مللي وات
dBw	Decibel per milliwatt	ديسبل لكل وات
dBμ	Decibel per microwatt	ديسبل لكل ميكرووات
DSF	Dispersion Shifted Fibers	الألياف ذات التشتيت الصفري المزاح
DWDM	Dense Wavelength-Division Multiplexing	التعدد بتقسيم الطول الموجي المضغوط
DXC	Digital Cross Connection	التوصيل المتقاطع الرقمي
Eg	Energy Gap	طاقة الثغرة
f	Frequency	التردد
F(M)	Excess Avalanche Noise Factor	معامل الضوضاء الإضافي الجرفي
FET	Field Effect Transistor	ترانزستور تأثير الحقل
G	Conductance	الموصلية
g	Graded Index Fiber Coefficient	معامل يحدد شكل تغير معامل الانكسار للب الليف التدريجي

الرمز	إنجليزي	عربي
h	Planck's constant	ثابت بلانك (6.626 × 10-34 J.s)
I_d	Dark Current	تيار الظلام
IR	Infrared	الأشعة تحت الحمراء
L	Inductance	المحاثة للملف
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation	تضخيم الضوء عن طريق الانبعاث الإشعاعي المحفّز "الليزر"
LD	Laser Diode	ديود الليزر
LED	Light Emitting Diode	الديود الباعث للضوء
LPF	Low Pass Filters	مرشح نطاق منخفض
MDP	Minimum Detectable Power	القدرة الصغرى القابلة للكشف للكاشف البصري
MFD	Mode Field Diameter	قطر مجال النمط
M_g	No. of modes propagated in graded Index Fiber	عدد الأنماط المنتشرة خلال الليف التدريجي
M_S	No. of modes propagated in Stepped Index Fiber	عدد الأنماط المنتشرة خلال الليف العتبي
n	Refraction Coefficient	معامل الانكسار
NA	Numerical Aperture	فتحة النفوذ العددية
NEP	Noise Equivalent Power	القدرة المكافئة للضوضاء "للكاشف الضوئي"
NRZ- Code	Non Return to Zero Code	شفرة عدم الرجوع للصفر
OC	Optical Carriers	الحوامل البصرية
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer	جهاز اختبار الألياف البصرية
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy	الشبكة الهرمية الرقمية شبه المتزامنة
P_{in}	Input optical power	القدرة البصرية على مدخل الليف
POF	Plastic Optical Fiber	الليف البلاستيكي
P_{out}	output optical power	القدرة البصرية على مخرج الليف
PW_{in}	pulse width at input	عرض النبضة الضوئية عند مدخل الليف



الرمز	إنجليزي	عربي
PW_{out}	pulse width at output	عرض النبضة الضوئية عند مخرج الليف
R	Resistance	المقاومة
RZ- Code	Return to Zero Code	شفرة الرجوع للصفر
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	شبكة التسلسل الهرمي الرقمي المتزامن
SONET	Synchronous Optical Networking	الشبكة البصرية المتزامنة
STM	Synchronous Transport Module	إطار وحدة النقل المتزامنة
STS	Synchronous Transport Signal	إشارة النقل المتزامن
SWR	Standing Wave Ratio	نسبة الموجة القائمة
TE - modes	Transverse Electric Modes	أنماط كهربائية عرضية
TL	Transmission Line	خط النقل
TM - modes	Transverse Magnetic Modes	أنماط مغناطيسية عرضية
UV	Ultraviolet	الأشعة فوق البنفسجية
V	Normalized Frequency OR V-Number	التردد المعياري" القيمة العددي -V
V_c	Cutoff Normalized Frequency O	القيمة الحدية للتردد المعياري
VC	Virtual Containers	الإطارات الافتراضية
VL	Visible Light	الضوء المرئي
VT	Virtual Trunks	مخازن افتراضية
WDM	Wavelength Division Multiplexing	تجميع القنوات بالتقسيم الطول الموجي
Z_c	Characteristic Impedance	الممانعة المميزة
Z_{in}	Input Impedance	ممانعة الدخل
Z_L	Load Impedance	ممانعة الحمل
Z_{out}	Output Impedance	ممانعة الخرج
α	Attenuation	التوهين
α_{dB}	Attenuation with decibel unit	التوهين بوحدة الديسبل

عربي	إنجليزي	الرمز
التوهين بالديسبل لكل كيلومتر من طول الخط	Attenuation with decibel unit per Km	$\alpha_{dB/Km}$
الفرق النسبي لمعامل الانكسار	Relative refraction Coefficient difference	Δ
التشتيت	Dispersion	Δt
ثابت العزل الكهربائي "النفاذية"	Dielectric Constant	ε_r
الكفاءة الكمية	Quantum Efficiency	η
زاوية القبول	Acceptance Angle	θ_a
الزاوية الحرجة	Critical Angle	θ_c
الطول الموجي	Wavelength	λ
طول الموجة القاطع	Cutoff Wavelength	λ_c
جذر متوسط التربيع لاتساع عرض النبضات على مخرج الليف	Root Mean Square of optical pulse broadening	σ
زاوية السقوط	Incident Angle	Φ_i
زاوية الانكسار	Refracted Angle	Φ_r
نصف قطر مجال النمط	Mode Field Radius	ω_o
عرض النطاق الإشعاعي	Spectral Width	σ_λ
معامل الانعكاس	Reflection Coefficient	Γ

المراجع

References

1. Bob Chomycz,: Fiber Optic Installer's Field Manual, McGraw-Hill, 2000.

2. Djafar K. Mynbaev, Lowell L. Scheiner: Fiber Optic Communications Technology, Prentice Hall, 2001.

3. Franz J.H., Jain V.K.: Optical Communication Component and Systems, Alpha Science, 2000.

4. Jeff Hechet: Understanding Fiber Optics, Prentice Hall, 1999.

5. John M. Senior: Optical Fiber Communications, Principles and Practice, Prentice Hall, 1992.

6. Robbert J. Hoss,: Fiber Optic Communications Design Handbook,

   Prentice Hall, 1990.

7. Jose Caballero,Francisco Hens, Roger Segura, Andreu Guimerá: Installation and Maintenance of SDHSONET, ATM, xDSL and Synchronization Networks.

8. Huub van Helvoort, 2005 John Wiley & Sons (Ltd)،HB. Next Generation SDH,SONET.

9. Khurram Kazi, Ph.D, 2006: Optical Networking Standards A Comprehensive Guide for Professionals,

10. Wavetek Wandel Goltermann Eningen: Guide to Synchronous Communications Systems, GmbH& Co.Marketing International PostfachPocket

المراجع العربية

١. د. محمد عبدالرحمن الحيدر: "اتصالات الألياف البصرية"، ١٩٩٥ م، مكتبة العبيكان، الرياض، المملكة العربية السعودية.

٢. "معجم مصطلحات الاتصالات، الجزء الأول"، وزارة البرق والبريد والهاتف ١٩٨٩/١٤٠٩.

٣. "معجم مصطلحات الاتصالات، الجزء الثاني"، وزارة البرق والبريد والهاتف ١٩٨٩/١٤١٠.

٤. د. أحمد أبو الفضل: "محاضرات في خطوط النقل للتردد الراديوي"، كلية الاتصالات والإلكترونيات – جدة.

المحتويات